CAPITULO I

LOS BUQUES Y SUS PROPIEDADES

1.1. LOS BUQUES

La «Arquitectura Naval» es la ciencia que estudia los buques y se divide en dos grandes ramas que son «La Construcción Naval» y la «Teoría del Buque».

La «Construcción Naval» es la rama de la ciencia que estudia el diseño y la estructura de los buques según los fines a que estén proyectados.

La «Teoría del Buque» es la rama de la ciencia naval que estudia la estabilidad en aguas tranquilas o en movimiento, la evolución y propulsión de los buques considerados como un flotador sobre un líquido que generalmente es agua dulce o salada.

Se define como buque a todo vaso o construcción flotante de madera, hierro u otro material impermeable que, impulsado por un propulsor adecuado sea capaz de transportar personas o cosas de un lugar a otro, pero además debe tener ciertas propiedades o condiciones que los identifican.

1.2. PROPIEDADES DE LOS BUQUES

Las principales propiedades que poseen son las siguientes:

1.2.1. Flotabilidad: Esta propiedad le permite al buque flotar sobre el agua aún cuando haya sufrido una avería y entrado ésta en determinados espacios interiores, gracias a su reserva de flotabilidad. Cuando un buque es sumergido por las olas en una tempestad éste puede emerger y continuar su navegación.

1.2.2. Estanqueidad: Esta propiedad es aquella que no permite que el agua se introduzca en su interior cuando embarcan golpes de mar; los buques poseen compuertas estancas que dan a la intemperie que los hacen impermeables.

1.2.3. Estabilidad: Es la propiedad que deben tener los buques para volver a su posición inicial de equilibrio cuando son sacados por una fuerza exterior de mar o viento.

1.2.4. Maniobrabilidad: Esta propiedad le permite al buque cambiar de dirección o rumbo para trasladarse de un lugar a otro. El espacio necesario para realizar una evolución depende de la eslora, calados, tipo de timón, hélice, etc..

1.2.5. Velocidad: Esta propiedad le permite al buque trasladarse en forma lenta o rápida de una posición a la otra, que depende de su potencia propulsora y formas del buque.

1.2.6. Autonomía: Esta propiedad le permite al buque navegar un determinado tiempo sin requerir aprovisionamiento de combustible o agua. La autonomía depende del consumo de combustible o agua y de la capacidad de los tanques para almacenar dichos consumos. Los consumos se miden comúnmente en toneladas de combustible por día o litros de combustible por milla recorrida.

1.2.7. Solidez: Esta propiedad le permite al buque resistir los esfuerzos provocados por los movimientos en el agua, y soportar los pesos que se le cargue.

EJERCICIOS

1 Definir con sus propias palabras las ramas en que se divide la «Arquitectura Naval».
2 Describir con precisión las propiedades que identifican a los buques.
3 Un buque tiene una capacidad máxima de combustible de 860 toneladas. Se pide:
a) Autonomía, si su consumo diario es de 14 Tm. de combustible
b) Millas que podrá recorrer sabiendo que su velocidad es de 12 nudos.

R a) 61 días 10 horas 17 minutos
b) 17 691.4 millas

CAPITULO II

ALGUNAS DEFINICIONES Y DIMENSIONES DE LOS BUQUES

2.1. ALGUNAS DEFINICIONES

2.1.1. Planos de referencia: Un buque es un cuerpo que ocupa un lugar en el espacio y para medirlo se deben tener tres planos de referencia que son los siguientes:

a) El plano longitudinal o diametral es aquél que tiene la dirección máxima del buque y lo divide en dos partes simétricas; este plano cuando está vertical el buque se encuentra adrizado y cuando se sale de la vertical el buque se halla escorado. Fig. II-1.

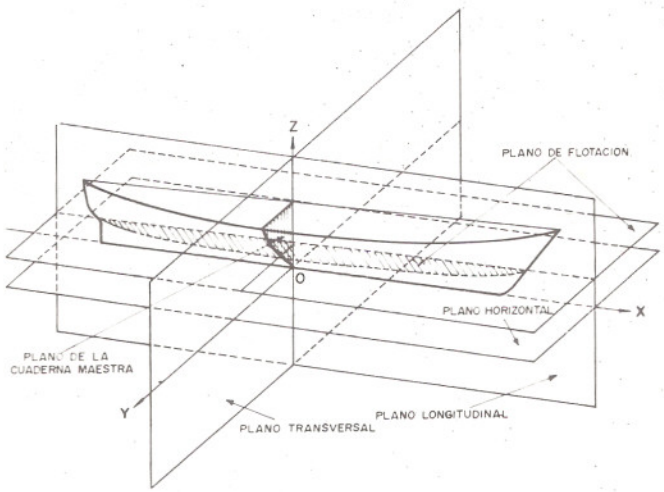


Fig. II - 1 PLANOS DE REFERENCIA

b) El plano horizontal o de flotación es aquel que sigue la dirección horizontal de las aguas en reposo y pasa por la parte inferior del buque o quilla, también se le llama plano base. Mediante este plano se sabe el asiento del buque.

c) El plano transversal es aquel perpendicular a los otros dos anteriores y corta al buque en su dirección mínima, pasando por la cuaderna maestra o por la perpendicular de popa según se considere su origen.

2.1.2. Proa y Popa: Se llama proa la parte delantera del buque considerando el sentido de movimiento y popa la parte de atrás. Estas partes del buque son de forma afilada para ofrecer menor resistencia a la marcha.

2.1.3. Babor y Estribor: Se llama babor el costado de la izquierda del buque con referencia a un observador que mira hacia proa ubicado en popa y estribor el costado derecho del buque para el mismo observador.

2.1.4. Plano de flotación y línea de flotación: Se llama plano de flotación aquel plano que coincide con la superficie del agua. Recibe el nombre de línea de flotación la intersección del plano de flotación con el casco.

2.1.5. Obra viva y obra muerta: La parte del buque sumergida en el agua que queda bajo el plano de flotación se llama obra viva o carena y la parte que queda sobre el agua se llama obra muerta. En general se divide la obra muerta en obra muerta propiamente dicha que llega hasta donde termina el casco en la cubierta que lo cierra y la otra parte las superestructuras que están sobre la cubierta antes mencionada. Tanto el casco como las superestructuras están divididos en pisos horizontales llamados cubiertas. Estas cubiertas en las bodegas se llaman entrepuentes.

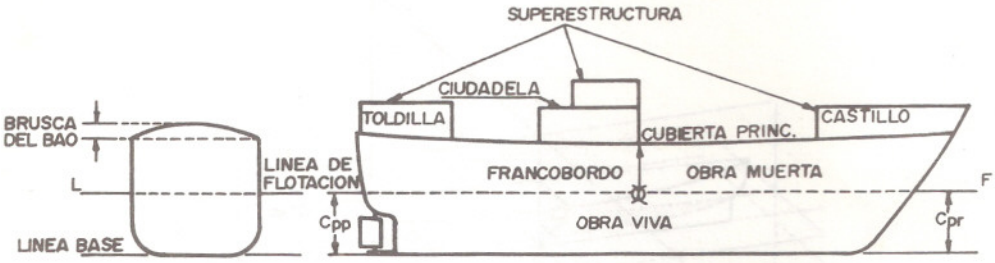


Fig.II-2 PARTES DEL BUQUE

2.1.6. Brusca: Se llama brusca a la curvatura que sufren los baos de la cubierta principal, para que el agua embarcada por lluvia o golpes de mar se deslice hacia el exterior del casco por medio de los imbornales o portas de desagües.

2.1.7. Francobordo: Es la distancia vertical medida en el centro del buque y comprendida entre la línea de flotación y la cubierta de francobordo o cubierta principal.

2.1.8. Calado: Es la distancia vertical comprendida entre la parte inferior de la quilla y la línea de flotación. Los calados pueden ser de proa, de popa y calado medio.

2.1.9. El calado medio está dado por la semisuma de los calados de proa y popa

$$Cm = \frac{Cpr + Cpp}{2}$$

EJEMPLO N° 1. Un buque tiene los siguientes calados: Cpr. = 5,40 m.; Cpp. = 6,20 m. Hallar el calado medio.

$$Cm. = \frac{Cpr. + Cpp.}{2} = \frac{5{,}40 + 6{,}20}{2} = \frac{11{,}60}{2} = 5{,}80\ m.$$

2.1.10. El calado en el medio o calado real [Cr.]: Es el calado que se mide en la escala de calados que se encuentra en los costados, en el centro del buque, normalmente este calado es igual al calado medio (Cr = Cm), pero cuando la quilla sufre una deflexión por la acumulación de pesos en la parte central o en sus extremos no son iguales.

2.1.11. El arrufo de construcción: Es la curvatura que tiene la cubierta principal de los buques con referencia al plano paralelo al plano base que pasa por el centro de dicha cubierta. Fig. II-3.

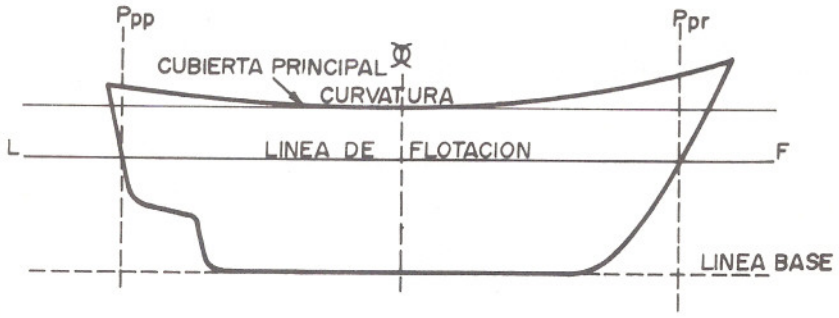


Fig. II-3 ARRUFO DE CONSTRUCCION

Esta curvatura le permite al agua deslizarse en sentido longitudinal, el arrufo de la parte de proa es el doble que el de popa.

2.1.12. El arrufo por deformación: Es aquél que sufre el buque considerado una viga su casco, al cargarse más la parte central que los extremos. Fig. II-4a.

2.1.13. El quebranto: Es aquella deformación que sufre el buque considerado una viga su casco contraria al arrufo o sea cuando la concentración de pesos de su

carga y lastre es en las bodegas y tanques extremos y en los centrales con pocos pesos. Fig. II-4b.

Fig. II - 4a ARRUFO POR DEFORMACION

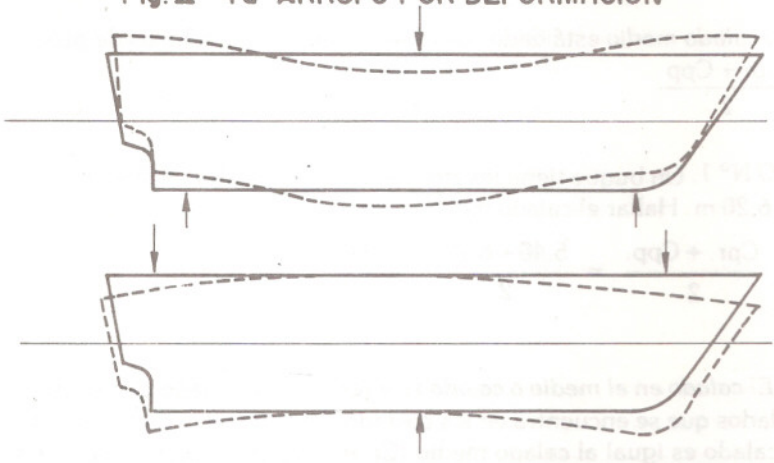


Fig. II - 4b QUEBRANTO POR DEFORMACION

Se producen deformaciones de arrufo o quebranto cuando el buque está en el mar y queda entre dos crestas en sus extremos y un seno en el centro o una cresta en el centro y los senos de la ola en sus extremos, respectivamente.

En buques de esloras grandes como los petroleros o mineraleros se pueden producir grandes deformaciones, y se deben tomar muy en cuenta para evitar daños en su estructura.

Para calcular el arrufo o quebranto de un buque se comparan el calado medio (Cm.) con el calado en el medio (Cr.). Fig. II-5a y Fig. II-5b.

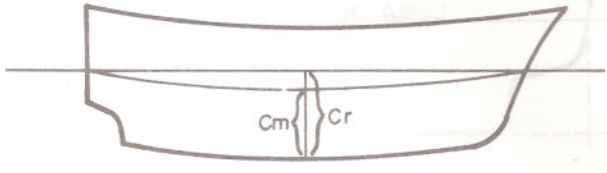


Fig. II - 5a BUQUE CON ARRUFO

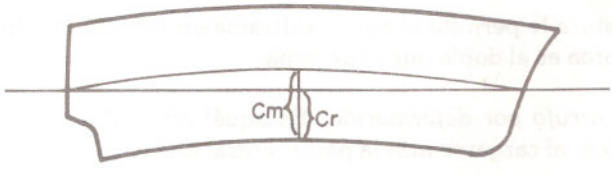


Fig. II - 5b BUQUE CON QUEBRANTO

Si el Cm < Cr el buque tiene arrufo; arrufo = Cr-Cm
Si el Cm > Cr el buque tiene quebranto; quebranto = Cm-Cr

EJEMPLO N° 2. Un buque mineralero tiene los siguientes calados:
Cpr. = 6,20 m.; Cpp. = 6,40 m., su calado en el medio Cr = 6,40 m. Se quiere saber si el buque tiene arrufo o quebranto.

$$Cm = \frac{Cpr. + Cpp.}{2} = \frac{6,20 + 6,40}{2} = 6,30 \text{ m.}$$

Cm. < Cr el buque tiene arrufo o sea que equ vale a:
Arrufo = Cr.-Cm. = 6,40-6,30 = 0,10 m.

2.1.14. Escala de calados: Ambas bandas c costados de los buques llevan marcados los calados de proa, popa y medio. Los números de estas escalas son marcados en bajo relieve si los cascos son de madera o soldadura con una planchuela si son de hierro, y luego pintados de blanco o amarillo cuando el casco es de color oscuro o en negro en casos de cascos claros para que haya contraste.

Las escalas pueden estar marcadas en números arábigos o en romanos, cuando están en números arábigos representan decímetros y se señalan los pares, siendo la altura de estos números de 10 cm.. Cuando la escala está en números romanos representan pies y se señalan todos los pies y la altura de cada número es de 6 pulgadas o medio pie. Fig. II-6a y II-6b.

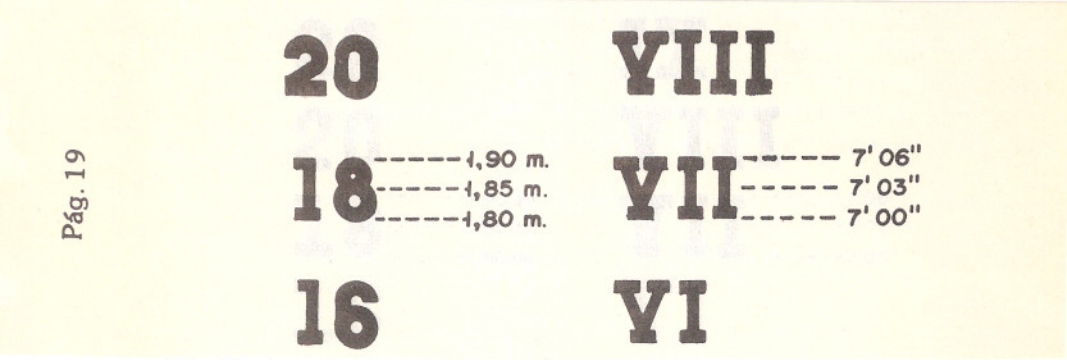


Fig. II-6a ESCALA DE CALADOS EN DECIMETROS.

Fig. II-6b ESCALA DE CALADOS EN PIES.

Es muy frecuente encontrar buques que tengan pintadas las escalas de una banda en pies y la otra en decímetros.

La lectura se efectúa de la siguiente forma, si la línea de agua pasa por la base del número indica que el calado es precisamente dicho número. Por ejemplo, en la escala de la Fig. II-6a la línea de agua toca la base del número 18, el calado será 1,80 m., si moja la mitad del número será 1,85 m.; si moja todo el número será 1,90 m.; igual ejemplo podemos hacer con la escala en pies en la Fig. II-6b si el agua toca la parte inferior del número romano VII será 7' (pies), si moja la mitad del número será 7' 3'' y si queda sumergido todo el número se leerá 7' 06'', etc..

2.1.15. Asiento [*A*]: Es la diferencia entre el calado de popa y el calado de proa.

A = Cpp - Cpr

Cuando el calado de popa es mayor que el calado de proa el asiento es positivo, de lo contrario es negativo.

Cpp > Cpr el A es + (buque apopado)

Cpp < Cpr el A es — (buque aproado)

2.1.16. Asiento inicial [*Ai*]: Es aquél que un buque tiene al inicio de una operación de carga o descarga.

2.1.17. Asiento final [*Af*]: Es aquél que un buque tiene al finalizar una operación de carga o descarga.

2.1.18. Alteración [*a*]: La alteración es la variación que sufre el asiento de un buque cuando se traslada un peso o se carga o descarga un peso, la alteración está dada por la diferencia entre el asiento final y el inicial,

a = Af — Ai

Si Af > Ai la alteración es positiva o apopante

Si Af < Ai la alteración es negativa o aproante

EJEMPLO N° 3. Un buque llega a puerto con los calados siguientes: Cpr = 4.20 m.. Cpp = 6.00 m. luego de descargar y cargar sale de puerto con los calados siguientes: Cpr = 3.60 m., Cpp = 4,40 m.. Se pide:

a) Calado medio inicial en pies y pulgadas

b) Asiento inicial en centímetros

c) Calado medio final en pies y pulgadas

d) Disminución o emersión del calado medio en pulgadas.

e) Alteración producida en los calados.

a) El calado medio inicial (Cmi) será:

$$Cmi = \frac{4.20 + 6.00}{2} = 5.10 \text{ m.}$$

$$Cmi = \frac{510}{2.54} = 200.78'' = 16'08.8''$$

b) Asiento inicial en cm.

Ai = Cpp — Cpr = 6,00 — 4,20 = 1,80 m. = 180 cm. (+) apopante

c) Calado medio final (Cmf) será:

$$Cmf = \frac{Cpr + Cpp}{2} = \frac{3.60 + 4,40}{2} = 4,00 \text{ m.}$$

$$Cmf = \frac{400}{2.54} = 157,48'' = 13' 01,5''$$

d) La disminución o emersión del calado medio (I) será:

$I = Cmi - Cmf = 200,78 - 157,48 = 43,30''$

e) La alteración será:

$Af = Cppf - Cprf = 4,40 - 3,60 = 0,80$ m. (+)

$a = Af - Ai$

$a = (+ 80) - (+ 180) = 80 - 180 = 100$ (−) cm. aproante.

2.2. DIMENSIONES DE LOS BUQUES. Fig. II-7

2.2.1. Eslora: Es el largo del buque, en la dirección proa popa. Está limitada en la parte de proa por una pieza llamada roda y en popa por el codaste.

Existen varios tipos de esloras:

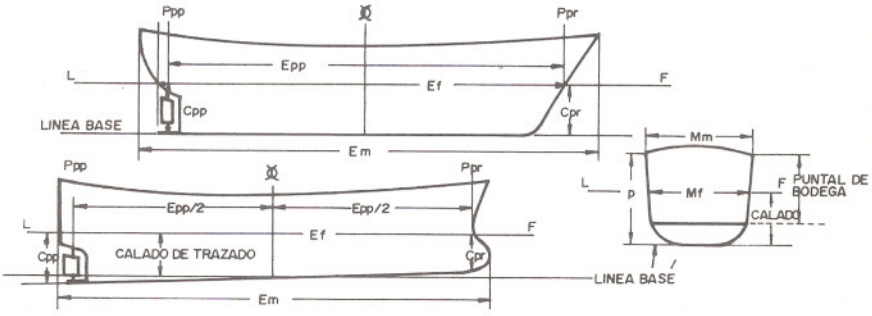


Fig. II-7 LINEAS DE REFERENCIAS

2.2.2. Eslora máxima o total [Em]: Es la longitud mayor entre las partes más salientes de proa y popa.

2.2.3. Eslora entre perpendiculares [Epp]: Es la distancia longitudinal comprendida entre la perpendicular de proa y la perpendicular de popa.

2.2.4. Perpendicular de proa [Ppr]: Es la vertical perpendicular a la línea de flotación que intercepta en la roda con la línea de agua del calado de verano.

2.2.5. Perpendicular de popa [Ppp]: Es la vertical a la línea de flotación que intercepta en el codaste con la línea de agua del calado de verano, en buques que tienen timones ordinarios y en buques con timones compensados la vertical de popa pasará por el eje de la mecha del timón.

2.2.6. Eslora de la flotación [Ef]: Es la longitud en la dirección proa a popa en el plano de la flotación en que se encuentre el buque.

2.2.7. Manga [M]: Es el ancho del buque en la dirección babor estribor. Existen varios tipos de mangas:

2.2.8. Manga Máxima [Mm]: Manga máxima o en el fuerte es la distancia transversal máxima por fuera del casco. Casi siempre esta manga coincide con la manga en la cuaderna maestra, si un buque tuviera en su construcción una saliente se medirá desde la parte exterior de éstas.

2.2.9. Manga en la flotación [Mf]: Es la distancia transversal medida sobre el plano de flotación en que se encuentre el buque.

2.2.10. Puntal [P]: Es la altura del buque.

2.2.11. Puntal de construcción [Pc]: Es la distancia vertical medida desde la línea base que pasa por la quilla en el centro del buque y la parte alta del bao en su intersección con el costado del casco.

2.2.12. Puntal de bodega: Es la vertical medida entre la parte interior del fondo de la bodega y el canto alto del bao en su intersección con el costado del casco.

EJERCICIOS

1 Calcular el calado medio y asiento de un buque, cuyos calados de Cpr. = 20'06'' Cpp. = 24'08''.

R.: Cm. = 22'07''
A = 4'02'' (+) apopado

2 Un buque al llegar a puerto tiene Cpr. = 4,60 m., Cm. = 4,80 m. el calado de popa no se puede observar; después de realizar las operaciones de carga y descarga queda con un Cpr. = 5.20 m., Cpp. = 5,00 m.
Hallar el calado de popa de llegada y la alteración producida.

R.: Cpp.i = 5.00 m.
a = 0.60 (-) aproante

3. Calcular el arrufo o quebranto de un buque cuyos Cpr. = 25'08'', Cpp. = 29'02'' y se mide el calado en el medio Cr. = 27'03''.

R.: El quebranto es de 2''.

CAPITULO IV

DESPLAZAMIENTO

4.1. DESPLAZAMIENTO. GENERALIDADES

El desplazamiento de un buque es el peso total del mismo.

Según el principio de Arquímedes, el peso de un cuerpo flotante es igual al peso del volumen del líquido desplazado por el mismo. Si llamamos D al desplazamiento, V al volumen de carena y δ a la densidad del agua en que flota el buque, tendremos: $D = V \times \delta$ y como V se expresa en m^3, el de D vendrá expresado en toneladas métricas (Tm). (*)

El valor de la densidad δ, varía según sea en mar libre, una bahía cerrada, próximo a una desembocadura de un río, etc.; siendo sus valores por ejemplo en el mar Báltico de 1.010, en el mar Rojo de 1.040, pero cuando se dice que un buque está flotando en agua salada se considera 1.025 la densidad que es considerada internacionalmente y en agua dulce 1.000. (**)

Según el estado de carga o cantidad de pesos que contenga el buque, éste se va a sumergir y va a tener una línea de flotación.

Generalmente se considera el desplazamiento para cuatro estados de carga o pesos, estos tipos son los siguientes:

4.1.1. Desplazamiento en rosca. Se llama desplazamiento en rosca al peso total del buque cuando éste sale del astillero, el buque no posee pertrechos, combustible, agua, provisiones, etc.; es cuando posee su mínimo calado.

4.1.2. Desplazamiento en lastre. Se llama desplazamiento en lastre al peso

(*) El desplazamiento se expresa también en toneladas largas o inglesas (L/T) que equivalen a 1.016 Kg.. Si el volumen sumergido del casco V estuviera expresado en pies cúbicos, para hallar el desplazamiento en L/T se divide por 35 o 36 según el buque esté flotando en agua salada o dulce respectivamente.

(**) La densidad del agua se mide a bordo tomando una muestra del agua donde se encuentra el buque, esta densidad depende de la salinidad y de la temperatura del agua. Existen lugares en donde esta densidad puede ser inferior a la unidad, como ciertos puertos en ríos en zona tropical, por ejemplo en los ríos Amazonas, Manaos o Macapá.

total del buque cuando éste no posee carga, pero contiene combustible, agua, provisiones, tripulantes, etc..

4.1.3. Desplazamiento a media carga. Se llama desplazamiento a media carga al peso total del buque conteniendo carga pero no llegando a su calado máximo.

4.1.4. Desplazamiento a máxima carga. Se llama desplazamiento a máxima carga al peso total del buque cuando éste llega a su máximo calado o sea que está cargado a su máxima capacidad de peso.

4.2. PESO MUERTO O DEAD WEIGHT

Se le llama peso muerto de un buque a la diferencia de pesos entre el desplazamiento máximo (Dmáx.) y el desplazamiento en rosca (Dr.).

Peso muerto (PM) = Dmáx. — Dr.

EJEMPLO: Un buque tiene un desplazamiento máximo de 5000 Tm. y el desplazamiento en rosca es igual a 2700 Tm.. Hallar el peso muerto.

PM = Dmáx. — Dr. = 5000 — 2700 = 2300 Tm.

El peso muerto es de 2300 Tm.

En el peso muerto intervienen varios tipos de pesos los cuales son variables en el buque y los podemos agrupar en los siguientes conceptos: carga, combustible, agua de lastre, agua dulce, agua de calderas, provisiones, tripulantes y pesos varios. Todos estos pesos los conocemos o los podemos medir en el buque, con excepción de los pesos varios, ya que estos últimos comprenden muchos pesos que son de difícil medición, tales como residuos de lodos en los tanques, capas de pintura, etc.. los cuales se calculan generalmente cuando el buque se encuentra sin carga y se conocen los demás, luego se mantiene el valor encontrado para futuros cálculos. El peso muerto se calcula de la siguiente manera:

PM = Carga + Combustible + Agua de Lastre + Agua Dulce + Agua de Calderas + Provisiones y tripulantes + Pesos varios.

EJEMPLO N° 7. Un buque tiene un desplazamiento en rosca de 1000 Tm., carga = 500 Tm.. combustible = 100 Tm.. Agua dulce = 50 Tm.. Agua de lastre = 75 Tm.. aceites = 5 Tm.. provisiones y tripulantes = 6 Tm. y pesos varios = 50 Tm.. Hallar el desplazamiento.

D = Dr. + PM (Desplazamiento en rosca + Peso muerto)

D = 1000 + 500 + 100 + 50 + 75 + 5 + 6 + 50 = 1786 Tm.

Empleando la fórmula del desplazamiento o del peso muerto se puede calcular cualquier peso que se desconozca sabiendo los demás.

EJEMPLO N° 8. Un buque cuyo desplazamiento máximo es de 1150 Tm. y su peso muerto de 450 Tm.. Se conoce su combustible = 60 Tm., Agua dulce = 30 Tm., Agua de lastre = 20 Tm., pesos varios y provisiones = 25 Tm.. Hallar las toneladas de carga que se podrán cargar.

Dmáx. = Dr. + PM

Dmáx. = Dr. + Carga + Combustible + Agua dulce + Agua de lastre + Pesos varios y provisiones

PM = Carga + Combustible + Agua dulce + Agua de lastre + Pesos varios y provisiones

Despejando en esta última fórmula el sumando carga, nos queda:

Carga = PM — (Combustible + Agua dulce + Agua de lastre + Pesos varios y Provisiones)

Carga = 450 — (60 + 30 + 20 + 25) = 450 — 135 = 315 Tm.

Se podrán cargar 315 Tm. de carga.

EJEMPLO N° 9. Un buque tiene un desplazamiento en máxima carga de 8000 Tm. y al salir de un puerto tiene 4500 Tm. de carga, 200 Tm. de combustible, 80 Tm. de agua dulce, 550 Tm. de agua de lastre, 20 Tm. de aceites, 5 Tm. de provisiones y tripulantes, estando en estas condiciones con su máximo calado. Hallar los pesos varios que se deben considerar si su desplazamiento en rosca es de 2500 Tm..

PM = Dmáx. — Dr. = 8000 — 2500 = 5500 Tm.

PM = Carga + Combustible + Agua dulce + Agua de lastre + Aceites + Provisiones y combustible + Pesos varios

Pesos varios = 5500 — (4500 + 200 + 80 + 550 + 20 + 5) = 5500 — 5355 = = 145 Tm.

Los Pesos varios son de 145 Tm.

4.3. COEFICIENTES DE AFINAMIENTO

Las dimensiones de un buque nos dan una idea del tamaño del mismo pero no sabemos si tiene una forma fina o llena, mediante el cálculo de los coeficientes de afinamiento podemos conocer la forma de la carena, la superficie de flotación o de su cuaderna maestra.

Veremos a continuación los distintos tipos de coeficientes que se calculan para proyectar un buque y en función de ellos el buque tendrá mayor o menor resistencia en su marcha.

Los coeficientes de afinamiento son:

4.3.1. Coeficiente de bloque o cúbico (Kb). Es la relación entre el volumen de carena y el paralelepípedo circunscrito, que tiene por dimensiones la eslora (E), la manga (M), y el calado (C). Fig. IV-1

$$Kb = \frac{\text{Volumen de carena}}{\text{Volumen paralelepípedo}} = \frac{Vc}{E.M.C.}$$

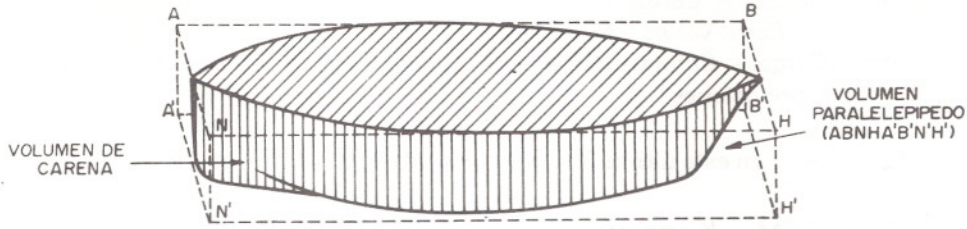


Fig. IV-1 VOLUMEN DE CARENA.

4.3.2. Coeficiente superficial (*Ks*). Es la relación entre la superficie de la flotación y el rectángulo circunscrito a la misma. Fig. IV-2

$$Ks = \frac{\text{Superficie de flotación}}{\text{Superficie rectángulo}} = \frac{Sf}{E.M.}$$

Siendo E y M la eslora y manga correspondiente a la superficie de la flotación que se considera.

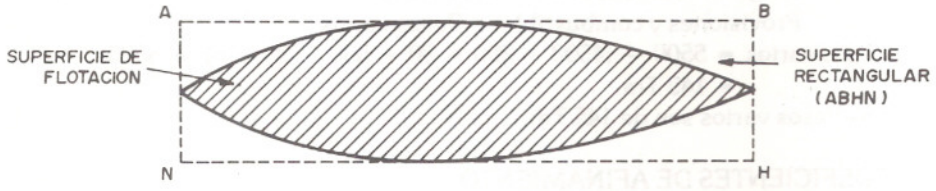


Fig. IV-2 AREA SUPERFICIE DE FLOTACION.

4.3.3. Coeficiente de la cuaderna maestra (*Km*). Es la relación entre la superficie de la cuaderna maestra y el rectángulo circunscrito a la misma. Fig. IV-3

$$Km = \frac{\text{Superficie cuaderna maestra}}{\text{Superficie rectángulo}} = \frac{Sm}{M \cdot C}$$

En donde M y C representan la manga y el calado hasta la línea de flotación considerada.

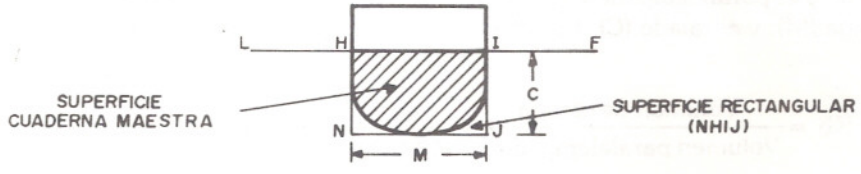


Fig. IV-3 AREA DE LA CUADERNA MAESTRA.

4.3.4. Coeficiente cilíndrico o prismático (Kp). Es la relación entre el volumen de carena y el de un cilindro, cuya sección recta tenga la superficie de la cuaderna maestra y de altura la eslora,

$$Kp = \frac{Vc}{Sm \cdot E} = \frac{\text{Volumen de carena}}{\text{Sup. cuaderna maestra x Eslora}}$$

Los valores de estos coeficientes de afinamiento los podemos obtener en las curvas hidrostáticas, que las veremos más adelante, los valores medios están dados según el tipo de buque en el cuadro siguiente:

Tipos de Buques	Kb	Ks	Km
Destructores	0,45 a 0,50	0,65 a 0,70	0,75 a 0,80
Buques de Pasajeros	0,65 a 0,70	0,70 a 0,75	0,94 a 0,97
Buques de Carga	0,75 a 0,80	0,80 a 0,85	0,94 a 0,97
Veleros	0,65 a 0,70	0,82 a 0,84	0,90 a 0,92
Pesqueros	0,52 a 0,70	0,79 a 0,87	0,93 a 0,96

4.4. VARIACION DEL DESPLAZAMIENTO POR LAS TONELADAS POR CENTIMETRO DE INMERSION (Tc).

Se llama toneladas por centímetro de inmersión las toneladas que se deben cargar en un buque para que éste se sumerja un centímetro o aumente su calado un centímetro.

Si tomamos una rebanada entre dos líneas de flotación de un centímetro de espesor, el volumen de esta rebanada la podemos calcular de la siguiente forma:

Vrebanada = Superficie flotación x 0,01

su peso equivale a este volumen por la densidad que le hemos llamado toneladas por centímetro de inmersión (Tc), nos queda:

Tc = Vr x densidad = Vr x δ , este valor va a ser la variación que sufre el desplazamiento por cada centímetro que se hunda el buque. También podemos considerar el problema inverso o sea cuando el buque emerge un centímetro se debe descargar una determinada cantidad de toneladas.

En los datos de información que poseemos en los buques podemos encontrar las toneladas por centímetro de inmersión (Tc) graficados en las curvas hidrostáticas y en la escala de peso muerto (PM) que veremos a esta última en este mismo capítulo.

Como la forma del casco varía con el cambio de calado, generalmente en los buques al aumentar el calado, aumenta también la superficie de flotación y por lo tanto la variación en un centímetro de calado va a ser mayor la cantidad de tonela-

das, entonces podemos decir que a menor calado las toneladas por centímetro de inmersión son menos que a mayor calado. Fig. IV-4

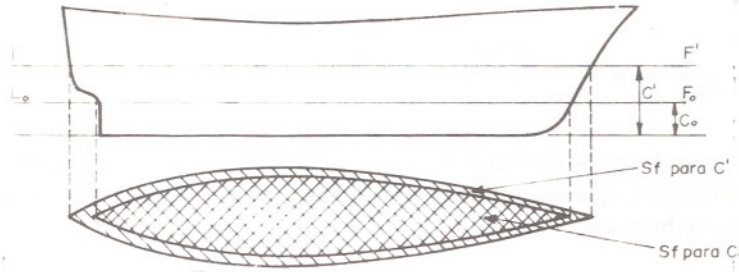


Fig. IV - 4 VARIACION DE LA SUPERFICIE DE FLOTACION AL VARIAR EL CALADO

Si observamos en la escala de peso muerto del buque «X», Fig. IV-5, vemos que para el calado de 3 m. las Tc equivalen a 6,28 Tm. y para 4,50 m. de calado se necesitan 6.85 Tm. para la inmersión o emersión de 1 cm.

4.5. TONELADAS POR PULGADA DE INMERSION (Tp).

En muchos buques que están expresados en medidas inglesas en vez de tener los valores en sus gráficos de toneladas por centímetro de inmersión tienen los de toneladas por pulgadas de inmersión (Tp).

Las Tp se pueden calcular por la siguiente fórmula:

$$Tp = \text{Superficie de flotación} \times 1/12 \times 1/35 = \frac{Sf}{420} \ (*)$$

EJEMPLO Nº 10. Un pesquero tiene un calado de 20 pies y la superficie de flotación de 7980 pies cuadrados. Se quiere saber las toneladas por pulgadas de inmersión.

$$Tp = \frac{7980}{420} = 19 L/T \text{ (Toneladas largas)}$$

(NOTA: Esta fórmula es aplicable para agua salada de $\delta = 1{,}025$)

4.6. ESCALA DE PESO MUERTO

Escala de peso muerto es un gráfico que tiene cada buque y mediante el mismo nos permite calcular el desplazamiento, peso muerto, francobordo, toneladas por centímetro de inmersión y el momento para cambiar el asiento un centímetro entrando con el calado medio del buque. Fig. IV-5

(*) En esta fórmula se divide por 12 porque 1 pie = 12 pulgadas y por 35 porque 1 tonelada de agua salada pesa 35 pies cúbicos. (Apéndice 1).

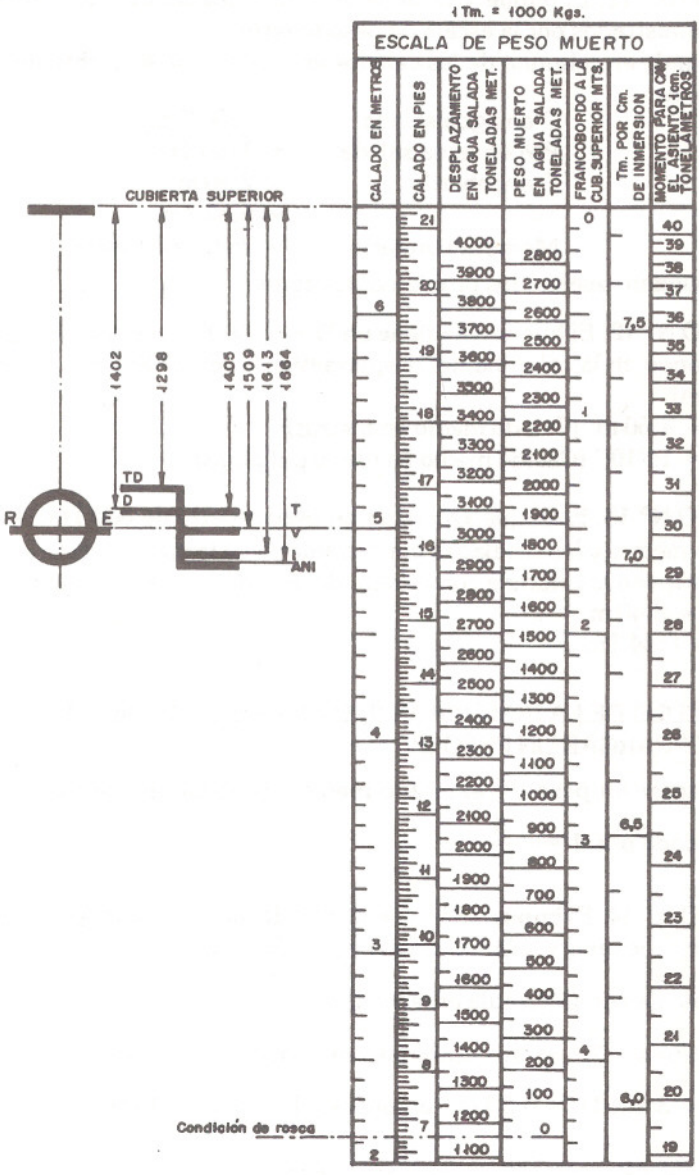


Fig. IV.- 5 ESCALA DE PESO MUERTO DE BUQUE "X"

Veamos mediante un ejemplo el uso de la escala de peso muerto, también se le puede llamar escala de porte.

EJEMPLO N° 11. El buque «X» tiene un calado medio de 4 m., obtener todos los datos suministrados por la escala de peso muerto.

Entrando en columna de los calados en metros con 4 se obtiene en las diferentes columnas:

D en agua salada	= 2350 Tm.
PM en agua salada	= 1190 Tm.
Francobordo	= 2,50 m.
Tc	= 6,67 Tm.
Momento unitario	= 26 tonelámetros

Se pueden resolver los problemas inversos:

EJEMPLO N° 12. El buque «X» tiene un D = 2700 Tm.. Hallar el calado medio.

Entrando en la columna del desplazamiento con 2700 Tm. se obtiene el calado medio (Cm).

Cm = 4,50 m. (Calado medio en metros)

Cm = 14'10'' (Calado medio en pies y pulgadas)

EJEMPLO N° 13. El buque «X» tiene un peso muerto de 800 Tm.. Hallar el calado medio en metros y las toneladas por centímetro de inmersión para ese peso muerto.

Se entra en la columna con el valor del PM de 800 Tm. y se obtiene:

Cm = 3,40 m.

Tc = 6,44 Tm.

4.7. CALCULO DE LA INMERSION (I) O EMERSION (E) AL CARGAR O DESCARGAR UN PESO (P)

Al cargar un peso (P) el calado medio del buque aumentará una cantidad (I) que está dada por: $I = \frac{P}{Tc}$

EJEMPLO N° 14. El buque «X» tiene un calado medio de 3 m. y va a cargar un peso P = 63 Tm.. Se quiere saber el calado medio final (Cmf).

Se calcula por la fórmula anterior $I = \frac{P}{Tc}$

Se obtiene Tc en la escala de peso muerto del buque «X» entrando con Cm = 3 m., Tc = 6,3 Tm., entonces, $I = \frac{63}{6,3} = 10$ cm.

Cm.f = Cm.i + I = 3.00 + 0,10 = 3,10 m.

En el caso que se descargara un peso (P) el calado medio disminuiría y la emersión (E) habría que restarle al calado medio inicial.

4.7.1. Otro uso de la escala de peso muerto

Veamos con un ejemplo: El buque «X» que tiene la escala de peso muerto Fig. IV-5, inició la carga con un calado medio (Cm.i) 4,20 m. y al finalizar la misma quedó con un calado final (Cm.f) de 4,70 m. Cuántas toneladas de carga se cargaron, si no se varió ningún otro peso?

Se obtienen los desplazamientos con los calados medios al iniciar y finalizar la carga y luego se restan, quedando:

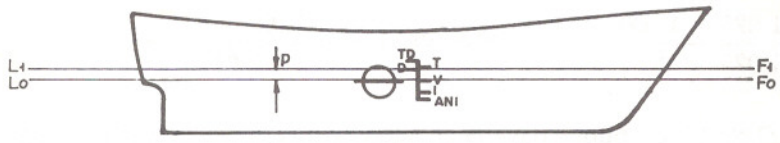
Carga = Df − Di = 2840 − 2490 = 350 Tm.

Se cargaron 350 Tm.

NOTA: Este problema se podría haber resuelto restando los pesos muertos correspondientes a los calados medios final e inicial.

4.8. VARIACION DEL CALADO DE UN BUQUE AL PASAR DEL AGUA DE MAR A AGUA DE RIO

Un buque al estar flotando en agua de mar o salada cuya densidad sea de 1,025 y al pasar a flotar en agua de un río o dulce cuya densidad es 1,00 el buque aumentará su calado, se explica mediante el principio de Arquímedes.



Lo Fo = Línea de flotación en agua salada.
Li Fi = Línea de flotación en agua dulce.

Fig. IV - 6 VARIACION DEL CALADO DE AGUA SALADA A DULCE.

En el caso que el buque estuviera flotando en agua dulce y pasara a agua salada el calado disminuiría.

Este aumento o disminución del calado de un buque se llama permiso (p) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Permiso (p)} = \frac{\text{Desplazamiento}}{40 \times Tc} = \frac{D}{40 \times Tc}$$

D = Desplazamiento en toneladas de peso
Tc = Toneladas por centímetro de inmersión
p = Permiso en centímetros

EJEMPLO Nº 15. Un buque cuyo desplazamiento es de 2000 Tm. y las Tc = 5 Tm.. Hallar el permiso (p).

Aplicando la fórmula anterior, tenemos

$$p = \frac{2000}{40 \times 5} = \frac{2000}{200} = 10 \text{ cm.}$$

En caso que hubiera que calcular el permiso en pulgadas, se aplica la misma fórmula pero el valor obtenido es en pulgadas.

EJEMPLO N° 16. Un buque tiene un desplazamiento de 3.000 L/T y las toneladas por pulgadas de inmersión (Tp) son de 20L/T. Hallar el permiso.

$$p = \frac{D}{40 \times 20} = \frac{3000}{800} = 3{,}75'' \text{ (pulgadas)}$$

D = Desplazamiento en toneladas
Tp = Toneladas por pulgada de inmersión
p = Permiso en pulgadas

4.9. VARIACION DEL CALADO DE UN BUQUE AL PASAR A NAVEGAR DE AGUA DE MAR (SALADA) A AGUA SALOBRE (ENTRE DULCE Y SALADA)

Si un buque está navegando en agua de mar ($\delta = 1{,}025$) al pasar a navegar en agua salobre cuya densidad δ' está entre 1 y 1,025 el buque sufrirá una inmersión x que será menor que el permiso p, se puede establecer la siguiente relación:

$$\frac{1{,}025 - 1{,}000}{1{,}025 - \delta'} = \frac{p}{x}, \text{ entonces } x = p\frac{1{,}025 - \delta'}{0{,}025} = 40.p\,(1{,}025 - \delta')$$

EJEMPLO N° 17. Un buque navega en agua de mar o salada siendo su Cm = 4,40 m., p = 12 cm., se desea saber su calado medio al llegar a puerto donde la densidad es de 1,015.

Solución: al pasar a navegar o en este caso llegar al puerto cuya densidad (δ') es menor que el agua salada el buque sufrirá una inmersión x.

$x = 40.p\,(1{,}025 - \delta') = 40.12(1{,}025 - 1{,}015) = 4{,}8$ cm.

Cmf = Cm + x = 4,40 + 0,05 = 4,45 m.

Si el buque pasara a navegar de agua salobre a salada sería la corrección x a restar.

La corrección x se expresaría en pulgadas en vez de centímetros si el permiso p estuviera dado en pulgadas.

EJEMPLO N° 18. Un buque se encuentra en un puerto cuya densidad es de 1,012 p = 6'' (pulgadas); Tp = 25 L/T; Cm = 15'10''; en estas condiciones zarpa del puerto y navega 10 horas para llegar al mar (agua salada). Calcular el calado medio que llegará al mar si el consumo diario es de 30 L/T.

Solución: Al pasar a navegar en agua salada sufrirá una emersión x

$x = 40.p\,(1{,}025 - \delta') = 40.6''\,(1{,}025 - 1{,}012) = 3{,}12''$ (pulgadas)

Debido a que el buque consumió en 10 horas de navegación un peso P que será:

Consumo en 24 horas = 30 L/T
Consumo en 10 horas = P

$$P = \frac{30 \times 10}{24} = 12{,}5 \text{ L/T}$$

$$\text{Corrección por consumo} = \frac{P_r}{Tp} = \frac{12.5}{25} = 0{,}5'' \text{ (emergerá 0,5'')}$$

Cm. en el mar = Cm − x − Corr. por consumo
Cm. en el mar = 15'10'' − 3,12'' − 0,5'' = 15'06.4''

EJERCICIOS

1. Hallar el desplazamiento de un buque que se encuentra flotando en agua salada, cuyo volumen sumergido o de carena es de 4800 m^3.
R.: D = 4.920 Tm.

2. Un buque cuyo desplazamiento en rosca es de 2000 Tm.; la carga es de 2200 Tm.; Agua potable = 100 Tm.; combustible y lubricantes = 300 Tm.; Tripulación y pesos varios = 55 Tm. y agua de lastre = 150 Tm.
Calcular: a) Desplazamiento en lastre
b) Desplazamiento actual
c) Peso muerto
R.: a) D lastre = 2605 Tm.
b) D actual = 4805 Tm.
c) PM = 2805 Tm.

3. Un buque de E = 120 m., M = 14 m., Cpr. = 6,40 m., Cpp. = 6,50 m., Kb = 0,66, Ks = 0,75. Calcular el desplazamiento y el calado medio después de embarcar a bordo 490 Tm., conservando el mismo asiento.
R.: D = 7.330,554 Tm.
Cm.f = 6,83 m.

4. El desplazamiento de un buque de 10.000 Tm., las toneladas por pulgada de inmersión = 48. Se halla a la carga en un río cuya densidad es 1,015 en zona de invierno; sabiendo que el calado máximo en la línea de verano es de 27'10''; al salir a navegar como es fecha que corresponde a invierno debe ajustarse a la reglamentación sobre líneas de carga. El consumo diario es de 30 Tm y ha de navegar 150 millas para llegar a la mar, a la velocidad de 7,5 nudos.
Se pide: a) Corrección por densidad
b) Corrección por consumo
c) Máximos calados permitidos al salir a la mar.
R.: a) x = 2,08''; b) Corrección consumo = 0,52''; c) Cmáx = 27'05.6''

CAPITULO VI

EL BUQUE CONSIDERADO UN FLOTADOR ATRIBUTOS DE CARENA O CURVAS HIDROSTATICAS

6.1. PRINCIPIO DE ARQUIMEDES Y FLOTABILIDAD

El filósofo griego Arquímides formuló un importante principio para todos los cuerpos que flotan o están totalmente sumergidos en un líquido homogéneo en reposo, que dice lo siguiente: Un cuerpo parcial o totalmente sumergido en un líquido está sometido a una fuerza de abajo hacia arriba resultante de las presiones que sobre las superficies de él ejercen, siendo igual al peso del volumen del líquido que desaloja. Fig. VI-1.

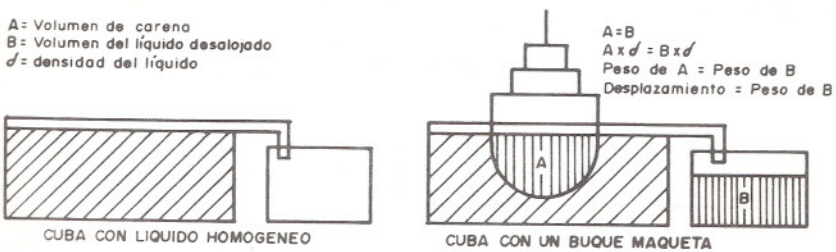


Fig. VI - 1 PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

La explicación es la siguiente: Un cuerpo al estar parcial o totalmente sumergido actúan en su superficie las fuerzas de presión que el líquido ejerce sobre ella, quedando como resultante de esas fuerzas una que va a actuar de abajo hacia arriba aplicada en el centro del volumen sumergido y de magnitud igual al peso del volumen del líquido desalojado, esta resultante se llama empuje.

La fuerza de empuje se encuentra equilibrada por otra fuerza igual pero de sentido contrario llamada peso del cuerpo.

Aplicado este principio a los cuerpos que no se sumergen por completo o que flotan en un líquido es preciso que el peso de dicho cuerpo sea menor que el peso del volumen del líquido que desaloja si se sumergiera totalmente. El cuerpo que cumple con esta condición se dice que flota y se le da el nombre de flotador.

Un buque es considerado un flotador, en el Cap. I habíamos visto que una de sus propiedades era su flotabilidad.

Las presiones que ejercen los líquidos sobre la superficie de carena del buque es la fuerza resultante llamada empuje (E), igual y de sentido contrario a otra fuerza resultante de todos los pesos que componen el buque llamada peso del buque o desplazamiento (D). Estas dos fuerzas son las que le permiten al buque quedar en equilibrio sin hundirse ni emerger. Si se le agrega un peso el buque aumenta su desplazamiento (D) y para volver a quedar en equilibrio tendrá que aumentar su empuje (E) una fuerza igual al peso agregado, para que esto ocurra el buque sufre una inmersión aumentando su volumen de carena.

Para que haya flotabilidad y un buque se mantenga en equilibrio se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

1°. Que la fuerza de empuje sea igual al desplazamiento.

2°. Que las fuerzas de empuje y desplazamiento, estén en la misma vertical pero de sentido contrario.

3°. Que el peso del cuerpo sea igual al peso del volumen del líquido desalojado por el mismo.

La parte del volumen del cuerpo flotante que queda sobre la superficie del líquido se llama reserva de flotabilidad. En un buque esta reserva de flotabilidad es la parte no sumergida o la obra muerta estanca.

6.2. CENTRO DE GRAVEDAD Y CENTRO DE CARENA

Se llama centro de gravedad (G) de un buque al punto en el cual se aplica la fuerza total del peso del mismo o desplazamiento (D). Fig. VI -2.

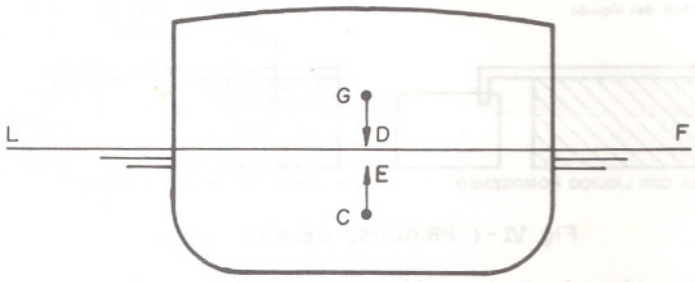


Fig. VI - 2 CENTRO DE GRAVEDAD (G) Y CENTRO DE CARENA (C)

El centro de gravedad depende por completo de la distribución de los pesos en el buque. su altura $\overline{KG}$ que se mide desde la línea base que pasa por la quilla va a depender de la cantidad de pesos altos o bajos que se carguen.

La altura vertical $\overline{KG}$ se calcula exactamente después de ser construido el buque mediante la experiencia de estabilidad que la describiremos más adelante.

Las otras coordenadas de este centro de gravedad (G) las estudiaremos en capítulos siguientes, ellas son: la distancia longitudinal que se mide desde la cuaderna maestra (Ⅻ) al centro de gravedad (G), $\overline{ⅫG}$ o desde la perpendicular de popa

(Ppp) al G, $\overline{PppG}$, la otra coordenada es medida desde el plano longitudinal en sentido transversal al centro de gravedad (G), $\overline{\text{℄G}}$.

Se llama centro de carena (C) de un buque al punto en el cual se aplica la fuerza de empuje (E) o de presión. Este punto está ubicado en el centro geométrico del volumen sumergido o carena. Fig. VI-2.

Las posiciones que ocupan estos dos centros en un buque son fundamentales para la estabilidad, asiento y escora del mismo.

El centro de carena (C) varía de acuerdo a la forma de la parte sumergida o sea que depende de la forma de la carena en cambio el centro de gravedad (G) depende del reparto de pesos que forman el buque.

La distancia vertical del centro de carena sobre la quilla $\overline{KC}$ se puede hallar en forma aproximada mediante la fórmula de Morrish siguiente:

$$\overline{KC} = Cm. - \frac{1}{3}\left(\frac{Cm.}{2} + \frac{Vc}{S_F}\right) = \frac{5 \cdot Cm. - \frac{Vc}{S_F}}{6}$$

en donde:

Cm. = Calado medio de trazado

Vc = Volumen sumergido de la carena

S_F = Superficie de la flotación

Las coordenadas del centro de carena ya vienen calculadas en las curvas hidrostáticas que estudiaremos en el Epígrafe 6-4.

6.3. METACENTRO Y RADIO METACENTRICO

Se llama metacentro de un buque a la intersección de las direcciones de los empujes que ejerce el agua sobre el casco cuando el buque se encuentra adrizado y cuando éste cambia su posición un ángulo muy pequeño. Fig. VI-3.

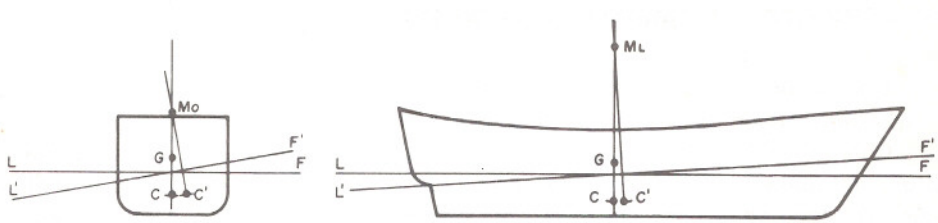


Fig. VI - 3 METACENTROS Y RADIOS METACENTRICOS (TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL)

Este ángulo muy pequeño en los buques se considera hasta 8 y 10 grados

El metacentro se llama inicial cuando el buque parte de su posición de adrizado (para realizar el cambio de posición) o calados parejos.

El metacentro se llama transversal Mo cuando el movimiento de rotación del buque se considera sobre el eje longitudinal (movimiento de inclinado es hacia babor o estribor) y el metacentro longitudinal M_L cuando el movimiento de rotación es sobre el eje transversal (movimiento de inclinado es hacia proa o popa).

La posición del metacentro tanto longitudinal como transversal no varía para un pequeño ángulo de cambio de posición del buque, que como se dijo anteriormente se considera hasta 8 y 10 grados, pero luego el metacentro comienza a variar. Según la distancia a que esté el metacentro M del centro de gravedad G va a ser la estabilidad del buque, para que un buque tenga estabilidad positiva y esté en condición de navegar el M debe estar por encima del G.

Se llama radio metacéntrico a la distancia comprendida entre el centro de carena y el metacentro, distancia $\overline{CMo}$ o $\overline{CM}_L$, según sea el radio metacéntrico transversal o longitudinal respectivamente.

El radio metacéntrico transversal $\overline{CM}$ (a partir de aquí en adelante $\overline{CM} = \overline{CMo}$) puede variar para cada ángulo de escora debido a que corresponde al radio de curvatura en cada inclinación de la curva que describe el centro de carena C al escorar el buque. Lo mismo se puede decir respecto al radio metacéntrico longitudinal $\overline{CM}_L$ pero con referencia a la curva que describe el centro de carena C cuando el buque rota sobre su eje transversal.

Estos radios metacéntricos se calculan mediante las fórmulas siguientes:

$$\overline{CM} = \frac{I_t}{Vc} \quad y \quad \overline{CM}_L = \frac{I_L}{Vc}$$ en donde:

I_t = Momento de inercia transversal de la superficie de flotación respecto al eje longitudinal.

I_L = Momento de inercia longitudinal de la superficie de flotación respecto al eje transversal.

Vc = Volumen sumergido de la carena.

En las curvas hidrostáticas que estudiaremos a continuación se pueden hallar los radios metacéntricos $\overline{CM}$ y $\overline{CM}_L$.

6.4. ATRIBUTOS DE CARENA O CURVAS HIDROSTATICAS (*)

Cuando un buque se encuentra a flote, el calado varía de un mínimo con un desplazamiento en rosca a un máximo con un desplazamiento en máxima carga.

Cuando varía el calado varía el volumen de carena, el centro de carena, la altura del metacentro, los coeficientes de forma del buque, la superficie de flotación, las toneladas por centímetro de inmersión, etc.. Todos estos valores se encuentran representados en gráficos, los cuales nos indican los valores que ellos van adquiriendo para cada calado, estas curvas se llaman atributos de carena o curvas hidrostáticas.

Se representan en un par de ejes cartesianos en los cuales en las ordenadas están los calados medios (en pies o metros) del buque en referencia. En las abscisas se representan, los desplazamientos, volumen de carena, superficie de flotación, toneladas por centímetro o pulgada de inmersión, etc., en una escala convenida.

En ciertos buques en las abscisas se representan en escalas en centímetros

(*) Ver curvas hidrostáticas de buque atunero «Aratz» al final de este Capítulo.

(Ejemplo M/N Aratz) o pulgadas que para obtener el valor de los diferentes atributos de carena que se quieran calcular, se multiplican estos centímetros o pulgadas por los coeficientes que están indicados en cada curva.

6.4.1. Uso de las curvas hidrostáticas

Estas curvas las suministran los astilleros para cada buque y por la gran utilidad que prestan, todos los oficiales deben conocer su manejo.

Se entra en la ordenada con el valor del calado medio (en metros o pies) y se sigue por la paralela al eje de las abscisas hasta interceptar la curva del atributo de carena que se busca, este valor tomado en el eje de las abscisas es el resultado. Cuando el eje de las abscisas está representado por centímetros como en las curvas del atunero «Aratz», se obtiene el valor en centímetros y se multiplica por el coeficiente que corresponde al atributo que se busca. En las curvas hidrostáticas del atunero «Aratz» que vamos a explicarlas mediante algunos ejemplos, los atributos del desplazamiento y volumen de carena tienen una escala en las abscisas que se obtienen directamente las toneladas o metros cúbicos, respectivamente; los atributos de los coeficientes de la cuaderna maestra, de la flotación y el de bloque se obtienen directamente en una escala apropiada para ellos y los atributos del centro de gravedad de la flotación, centro de gravedad longitudinal de la superficie mojada y el centro de carena longitudinal tienen una escala que se obtiene directamente las respectivas distancias respecto a la perpendicular de popa en metros.

Veamos algunos ejemplos:

EJEMPLO N° 24. El buque atunero «Aratz» tiene un calado medio de trazado de 4 m. Hallar el desplazamiento.

1°.) Se entra en la ordenada con el valor del Cm. = 4.00 m.

2°.) Se sigue la paralela hasta interceptar el atributo o curva de desplazamiento (D).

3°.) De la intercepción anterior se sigue la ordenada hasta el pie de las abscisas, obteniendo en la escala 1532 Tm.

EJEMPLO N° 25. El buque atunero «Aratz» llega a puerto con un calado medio de trazado Cmi. = 5,10 m. y luego de descargar quedó con un calado medio de trazado Cm.f = 3,90 m.

¿Cuántas toneladas descargó?

Se procede como en el ejercicio anterior obteniendo:

Desplazamiento de llegada para Cmi. = 5,10 m.	2.135 Tm.
Desplazamiento al finalizar descarga para Cmf = 3,90 m.	1.485 Tm.
Toneladas que se descargaron	650 Tm.

EJEMPLO N° 26. Hallar para el calado medio de trazado de 4,50 m. del atunero «Aratz» los valores de los siguientes atributos:

a) Altura del centro de carena $\overline{KC}$

b) Las toneladas por centímetro de inmersión Tc

c) Distancia del centro de carena a la perpendicular de popa $\overline{Ppp.C}$

d) Distancia del centro de flotación a la perpendicular de popa $\overline{Ppp.F}$

Se procede entrando en la ordenada con el Cm = 4,50 m. y siguiendo la paralela a la abscisa hasta interceptar la curva deseada y luego obteniendo los siguientes valores:

a) 25,7 cm. (cada lado de los cuadraditos equivalen 1 cm. sobre las abscisas, se comienza a contar en el margen izquierdo donde está el 400).

25.7 x 0.10 = 2,57 m.; (0,10 es el coeficiente de la curva).- KC = 2,57 m.

b) El valor de Tc se obtiene, entrando con el Cm = 4,50 m., se sigue la paralela a las abscisas hasta interceptar la curva de toneladas por centímetro de inmersión, obteniéndose 27,4 cm. x 0,20 = 5,48 Tm., (0,20 es el coeficiente del atributo 1 cm. = 0,20 Tm.).

c) La distancia del centro de carena a la perpendicular de popa ($\overline{Ppp.C}$) se obtiene entrando con el Cm = 4,50 m., se sigue la paralela a las abscisas hasta interceptar la curva que dice centro de carena longitudinal, de este punto se sigue la ordenada hacia arriba hasta la escala que dice distancia respecto a la perpendicular de popa siendo el valor 2,77 m. = $\overline{Ppp.C}$

d) La distancia del centro de flotación F a la perpendicular de popa se halla de la misma forma que en el item c, para Ppp.C, pero en este caso teniendo en cuenta la curva hidrostática que dice centro de gravedad de la flotación; con el Cm. = 4,50 m. intercepta a la curva de F, que llevado este punto a la escala que dice distancia respecto a la perpendicular de popa se obtiene 24,66 m. = $\overline{Ppp.F}$.

EJEMPLO N° 27. En el atunero «Aratz» se ha calculado el desplazamiento (D) siendo 2.200 Tm., se desea saber cuál es su calado medio de trazado.

Solución:

a) Se entra en las abscisas con el valor de D = 2200 Tm. y se sigue por la ordenada hasta interceptar la curva que dice desplazamiento de trazado.

b) De la intercepción del ítem anterior, se sigue paralelo a las abscisas hasta la ordenada donde indica la escala de calado de trazado en metro, obteniendo en este ejemplo 5.21 m. o sea que el Cm. = 5,21 m..

NOTA: En buques cuya curva de desplazamiento tenga un coeficiente y no posea los valores del mismo en las abscisas, se debe dividir el desplazamiento por dicho coeficiente obteniendo la cantidad de centímetros para entrar en las abscisas y proceder como se hizo en el ejemplo precedente.

EJERCICIOS

1. El atunero «Aratz» tiene un desplazamiento de 2.100 Tm. Calcular los siguientes atributos de carena: a) $\overline{KC}$ = altura del centro de carena; b) $\overline{KMo}$ = altura del metacentro transversal; c) $\overline{KM_L}$ = altura del metacentro longitudinal; d) $\overline{PppC}$ = distancia del centro de carena a la perpendicular de popa; e) PppF = distancia del centro de flotación a la perpendicular de popa; f) Kb = coeficiente de bloque; g) Ks = coeficiente superficial de la flotación; y h) Km = coeficiente de la cuaderna maestra.

R.: a) $\overline{KC}$ = 2,88 m.; b) $\overline{KMo}$ = 5,45 m.; c) $\overline{KM_L}$ = 63,20 m.; d) $\overline{PppC}$ = 26,40 m.; e) $\overline{PppF}$ = 23,88 m.; f) Kb = 0,62; g) Ks = 0,86; h) Km = 0,94.

2. El atunero «Aratz» tiene un calado medio de trazado igual a 5,10 m. Hallar: a) Desplazamiento, b) Area de la superficie de flotación.
R.: a) D = 2.136 Tm.; b) Area flotación = 566 m^2.

3. El atunero «Aratz» se encuentra en las siguientes condiciones: Cpr = 4,80 m.; Cpp = 5,40 m.; densidad del agua = 1.000. Calcular el desplazamiento.
R.(*): D = V carena = 2.080 Tm.

4. El atunero «Aratz» se encuentra en un puerto cuya densidad del agua es de 1,007, siendo su calado medio de trazado de 4,90 m.; luego cargó 80 Tm. entre agua y combustible.
Se pide su desplazamiento.
R.(**): D = 2.070 Tm.

(*) El ejercicio 3, se resuelve mediante la curva hidrostática del volumen de trazado de la carena o aplicando al valor del calado medio de trazado el permiso. Ver epígrafe 4-8.
(**) El ejercicio 4, se resuelve aplicando los epígrafes 4-7; 4-8 y 4-9.

CAPITULO VII

ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL

7.1. GENERALIDADES

Habíamos visto (Cap. I) que la estabilidad era una de las condiciones que tienen los buques para poder navegar con seguridad.

Se define como la condición de un buque para volver a su posición inicial (casi siempre adrizado) cuando es escorado por una fuerza exterior; de la misma forma se define cuando es sacado de su posición inicial de calados, según sea el movimiento en el sentido del plano transversal (babor-estribor) o del plano longitudinal de proa a popa.

En la estabilidad de los buques es de suma importancia el conocimiento de su cálculo teórico, para poder establecer el grado de seguridad de los mismos.

Cada día las nuevas Conferencias Internacionales ponen más énfasis en la parte de la estabilidad, exigiendo reglas estrictas para su construcción, para que cumplan con las condiciones mínimas de estabilidad llamada criterios de estabilidad. Además ha de haber en todo buque la información fidedigna que sea necesaria, para que se pueda por métodos rápidos y sencillos obtener un conocimiento preciso de la estabilidad en diferentes condiciones de servicio.

7.2. CLASIFICACION DE LA ESTABILIDAD

La estabilidad de los buques para su estudio la dividiremos de la siguiente forma que la representaremos a continuación:

- A) Estabilidad estática
  - a) Estabilidad estática transversal
    - i) Estabilidad estática transversal inicial
    - ii) Estabilidad estática transversal a grandes ángulos de escora
  - b) Estabilidad estática longitudinal
- B) Estabilidad dinámica
  - a) Estabilidad dinámica transversal

7.3. ESTABILIDAD ESTATICA

Este tipo de estabilidad se refiere cuando se hace el estudio del buque en agua en reposo o tranquila, no existiendo, olas, viento, ni corriente.

La estabilidad estática transversal, es aquella que estudia al buque flotando en agua en reposo y moviéndolo en la dirección babor-estribor-babor.

7.3.1. Par de estabilidad

Si a un buque Fig. VII-1 que está flotando en agua tranquila se le aplica una fuerza exterior, en el sentido babor-estribor, el buque se va a escorar y al cambiar de forma la carena, el centro de carena que estaba en C se trasladará a C'. Entonces C' es el nuevo centro de gravedad del volumen sumergido, porque la cuña de agua aob se trasladó para estribor, cuña a'ob', entonces la fuerza de empuje (E) va a estar aplicada en el punto C' y la fuerza del peso del buque (D) continúa aplicada en el punto G.

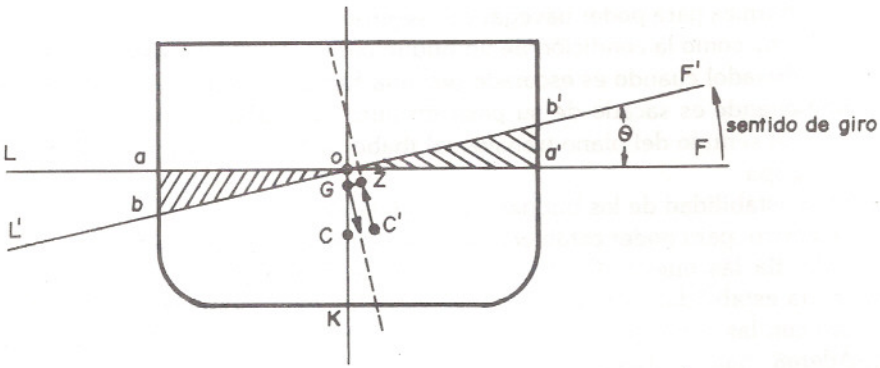


Fig. VII - 1 PAR DE ESTABILIDAD.

Como se puede apreciar estas dos fuerzas van a crear un par de fuerzas que se llama par de estabilidad o de adrizamiento porque tiende a llevar el buque a su posición inicial.

La distancia $\overline{GZ}$, llamada brazo de adrizamiento, es perpendicular desde el centro de gravedad (G) a la dirección del empuje (E).

La cupla del par de estabilidad (D x $\overline{GZ}$) crea un momento adrizante que lo hace rotar al buque en el sentido de la flecha, para que el buque vuelva a su posición inicial.

7.3.2. Altura metacéntrica ($\overline{GM}$)

Si un buque sale de su posición inicial (Fig. VII-2) escorándose por la acción de una fuerza exterior un ángulo θ (letra griega tita), la dirección de la fuerza de empuje (E) aplicada en C' que es perpendicular a la nueva línea de flotación L'F',

va a interceptar en el punto del metacentro (M) a la dirección inicial que tenía la fuerza de empuje cuando estaba aplicada en el punto C.

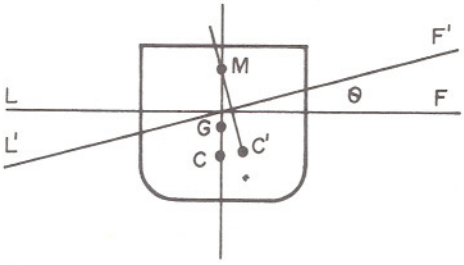


Fig. VII - 2 ALTURA METACENTRICA.

La distancia $\overline{GM}$ se llama altura metacéntrica, de ella va a depender la estabilidad del buque.

La altura metacéntrica $\overline{GM}$ la podemos calcular mediante la prueba de estabilidad; en función del período de balance o por momentos al plano base, que los veremos más adelante.

La fórmula que sigue nos da el $\overline{GM}$:

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$$

$\overline{KM}$ = Altura del metacentro de la quilla (se obtiene por medio de las curvas hidrostáticas).

$\overline{KG}$ = Altura del centro de gravedad sobre la quilla. (Se obtiene dividiendo la suma total de los momentos verticales de todos los pesos del buque respecto a la quilla o plano base por el desplazamiento;

$$\overline{KG} = \frac{\sum Mv}{D.}$$

7.3.3. Clases de equilibrio del buque

Existen tres clases de equilibrio, estable, indiferente e inestable. Fig. VII-3.

Estos estados de equilibrio están relacionados con el $\overline{GM}$ (altura metacéntrica) del buque, según sea:

a) $\overline{GM} > 0$ Equilibrio estable
b) $\overline{GM} = 0$ Equilibrio indiferente
c) $\overline{GM} < 0$ Equilibrio inestable

En la Fig. VII-3 se representan los tres estados aplicados al buque y a un cono homogéneo recto.

a) Equilibrio estable $\overline{GM} > 0$, en este caso el $\overline{KM} > \overline{KG}$, y se dice que la estabilidad es positiva, porque cuando el buque se escora el par de estabilidad lo hace volver a su posición original. Este es el caso de equilibrio ~~que~~ pueden navegar los buques.

b) Equilibrio indiferente $\overline{GM} = 0$, en este caso $\overline{KM} = \overline{KG}$, coinciden los puntos M y G, la estabilidad es nula porque no se crea par de adrizamiento, si es

aplicada una fuerza exterior se escorará hasta que pare el impulso de esa fuerza. En este caso no ofrece seguridad para navegar.

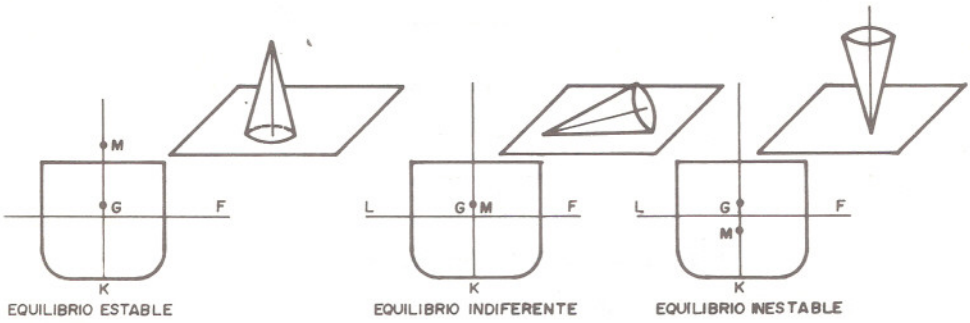


Fig. VII - 3

c) Equilibrio inestable $\overline{GM} < 0$, en este caso $\overline{KM} < \overline{KG}$, se dice que la estabilidad es negativa, porque en vez del par adrizante hacerlo volver a su posición inicial el buque continuará escorándose, al salirse de su posición de equilibrio, hasta darse la vuelta o zozobrar. En este caso muchos buques no llegan a zozobrar sino que quedan con una determinada escora porque al cambiar de forma la carena se puede elevar el metacentro sobre el centro de gravedad, pero si cambiara de banda la escora por una fuerza exterior, el bandazo hacia el otro lado sería muy peligroso. En este caso el buque corre un serio riesgo de dar la vuelta campana como se suele decir.

7.3.4. Buques duros y buques blandos

Vimos anteriormente que $\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$ y para que un buque estuviera en condiciones de navegar el $\overline{GM}$ tiene que tener un valor positivo, el $\overline{KM}$ es una magnitud que depende de la forma de la carena o parte sumergida, buques de formas más llenas como son las gabarras, dragas, etc., tienen un $\overline{KM}$ muy grande. El $\overline{KG}$ que es la altura del centro de gravedad sobre la quilla es una distancia que depende de la distribución de pesos en el buque.

Cuando el valor del $\overline{GM}$ es pequeño se dice que un buque es blando y en caso contrario un buque es duro. La distancia del $\overline{GM}$ varía normalmente entre 0,30 m. y 3,00 m. en la mayoría de los buques.

Los buques blandos tienen un balance lento y su escora es pronunciada; en cambio, en los buques duros el movimiento de balance es más rápido y la escora menos pronunciada. Ningún tipo de buque blando o duro es conveniente sino que se debe dar una altura metacéntrica adecuada, para la mayor seguridad y confort en el buque.

En un buque blando, al tener poco $\overline{GM}$ tiene poca estabilidad, se debe aumentar bajando la altura del G ya sea cargando pesos bajos, descargando pesos altos o corriendo pesos altos para lugares más próximos a la quilla. Estos pesos que se

pueden mover son la carga, agua de lastre, agua potable, combustible y otros de los equipos del buque.

En un buque duro, su $\overline{GM}$ es muy grande, lo que se debe hacer es levantar la posición del G efectuando procesos contrarios a los enumerados para buques blandos, con la carga, lastre, combustible, etc..

7.4. ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL INICIAL

Esta estabilidad se considera cuando el buque sufre escoras inferiores a 10 grados, el metacentro M no cambia de posición, el brazo de adrizamiento $\overline{GZ}$ en el triángulo rectángulo GZM de la Fig. VII-4 se halla mediante la relación trigonométrica: $\overline{GZ} = \overline{GM} \operatorname{sen} \theta$

El momento adrizante viene dado por el par de estabilidad que se crea al escorarse el buque: $Ma = D \times \overline{GZ} = D \times \overline{GM} \operatorname{sen} \theta$

Ma = momento adrizante

D = desplazamiento

$\overline{GM}$ = altura metacéntrica

θ = ángulo de escora inferior a 10 grados.

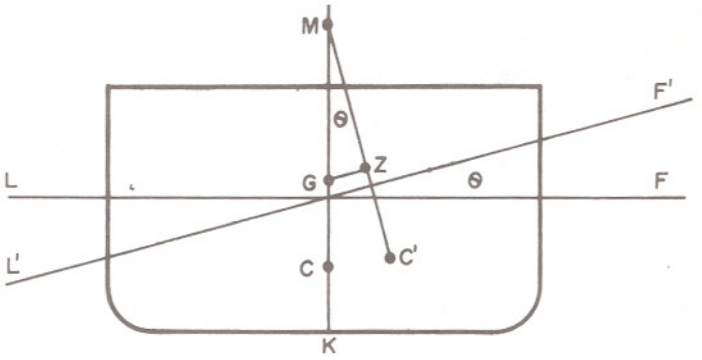


Fig. VII - 4 ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL INICIAL.

EJEMPLO N° 28. Un buque de 1000 Tm. de desplazamiento tiene un $\overline{GM}$ = 1 m..

Hallar su momento adrizante y brazo de adrizamiento para 6 grados de escora.

$Ma = \overline{GM} \times \operatorname{sen} \theta \times D = 1 \times \operatorname{sen} 6° \times 1000 = 1 \times 0{,}1045 \times 1000 =$

Ma = 104,5 Tonelámetros

$\overline{GZ} = \overline{GM} \times \operatorname{sen} \theta = 1 \times \operatorname{sen} 6° = 1 \times 0{,}1045 = 0{,}1045$ m.

7.4.1. Cálculo de la altura metacéntrica $\overline{GM}$ mediante el período de balance o rolido

Este método de cálculo de la estabilidad inicial de los buques, es un método aproximado y aplicable a buques hasta 70 metros de eslora.

Se utilizará este cálculo cuando no se posean datos exactos de la distribución

de la carga en el buque o se quiera suplementar como cálculo de estabilidad.

Se llama período doble de balance al tiempo que tarda un buque para realizar una oscilación completa, partiendo por ejemplo de babor hasta estribor regresando a babor nuevamente o viceversa.

Una de las fórmulas aproximadas para calcular la altura metacéntrica inicial en función del período doble de balance y de la manga es la siguiente:

$$\overline{GMc} = \left[\frac{K \cdot M.}{Td}\right]^2$$

siendo: $\overline{GMc}$ = altura metacéntrica corregida. (Ver epígrafe 12.2)

K = factor correspondiente al período de balance que difiere según se utilicen pies o metros.

M = manga del buque expresada en pies o metros

Td = período doble de balance del buque, en segundos.

El valor del coeficiente K cuando se toman las unidades en metros puede variar entre 0,73 a 0,88 y cuando están en pies de 0,40 a 0,49 considerando el buque en plena carga y en lastre o vacío respectivamente.

Se pueden tomar sin mayores errores los valores de K de 0,78 en metros y de 0,44 en pies, como valores promedios. (Ver epígrafe 19.3).

El período doble de balance Td se medirá con el buque en puerto en aguas tranquilas haciendo que el buque comience a balancearse y se cuenta con un cronómetro el tiempo de 3 a 5 oscilaciones completas que luego dividiendo por el número de oscilaciones se obtiene el tiempo de una oscilación.

$$Td = \frac{t}{n} = \frac{\text{tiempo en segundo de las oscilaciones completas}}{\text{número de oscilaciones completas}}$$

EJEMPLO N° 29. Un buque tarda 24 segundos para efectuar 4 oscilaciones completas. Hallar su período doble de balance.

$$Td = \frac{t}{n} = \frac{24}{4} = 6 \text{ segundos}$$

Los balances cuando se hagan estas mediciones no deben ser mayores de 10 grados de escora y en aguas tranquilas.

Si el buque se encuentra con amarras se deben dejar en banda para que no sufra rozamientos y esté lo más libre posible del muelle.

La profundidad será razonable bajo la quilla y no habrá pesos que puedan oscilar como botes salvavidas, pesos suspendidos de las plumas, pesos que se trasladen ni tanques con superficies libres.

7.4.2. Limitaciones de este método

a) Un período largo de balance, correspondiente a un $\overline{GMc}$ de 0,20 m. o menos, indica una condición de poca estabilidad, por lo tanto se reduce la exactitud del valor del $\overline{GMc}$ determinado.

b) En mar abierto donde haya olas y viento, no le permiten al buque realizar las oscilaciones libremente sino que estará influenciado por esos factores.

c) La poca profundidad de las aguas no es conveniente, ni las oscilaciones cuando sean mayores que 10 grados de escora.

EJEMPLO N° 30. Hallar la altura metacéntrica de un buque pesquero que tiene una manga de 12 metros, está a media carga, y se midieron 3 oscilaciones siendo de 24 segundos el tiempo registrado.

$$Td = \frac{24 \text{ segundos}}{3 \text{ oscilaciones}} = 8 \text{ segundos}$$

$$\overline{GMc} = \left[\frac{K.M}{Td}\right]^2 = \left[\frac{0{,}78 \times 12}{8}\right]^2 = 1{,}37 \text{ m.}$$

7.5. ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL A GRANDES ANGULOS DE ESCORA

Anteriormente vimos que la estabilidad transversal inicial se calculaba el brazo de adrizamiento $\overline{GZ}$ mediante la fórmula: $\overline{GZ} = \overline{GM}\text{sen } \theta$

Esta estabilidad inicial es calculada en la forma antes dicha hasta los 8 a 10 grados de escora, porque se considera que el metacentro M no varía. A partir de los 10 grados de escora el metacentro M cambia de posición y ya no se puede calcular el brazo $\overline{GZ}$ por la fórmula mencionada, porque el triángulo GZM deja de ser rectángulo. Fig. VII-5.

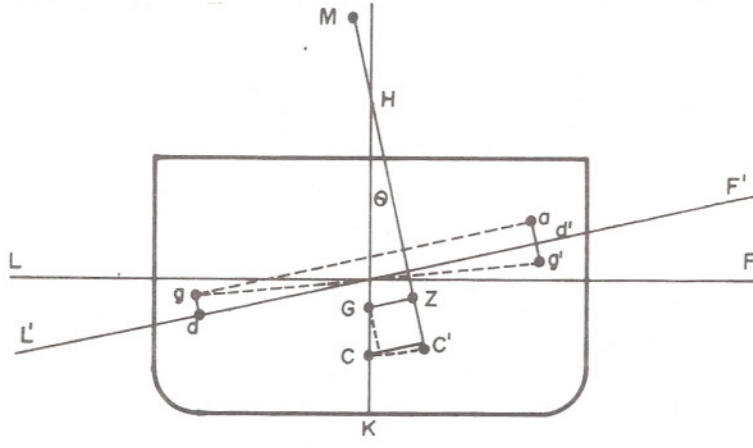


Fig. VII - 5

El brazo de adrizamiento para calcular la estabilidad estática transversal a grandes ángulos de escora o mayores que 10 grados se calcula mediante la fórmula de Atwood.

$$\overline{GZ} = \frac{\overline{Vc} \times \overline{dd'}}{Vs} - \overline{GC} \operatorname{sen} \theta \qquad \text{(Fórmula de Atwood)}$$

siendo:

$\overline{Vc}$ = volumen de la cuña de agua de emersión o inmersión

$\overline{dd'}$ = distancia proyección de los centros de gravedad g y g' de las cuñas de emersión e inmersión sobre la nueva línea de flotación L'F'

Vs = volumen sumergido o de carena

$\overline{GC}$ = distancia entre el centro de gravedad y el de carena

θ = ángulo de escora.

7.5.1. Aplicación de la fórmula de Atwood

La fórmula de Atwood requeriría para su aplicación de un laborioso trabajo de parte del oficial al efectuar el cálculo de estabilidad, por ello se ha sustituido por una fórmula similar en donde el brazo de adrizamiento está dado por la fórmula siguiente: Fig. VII-6.

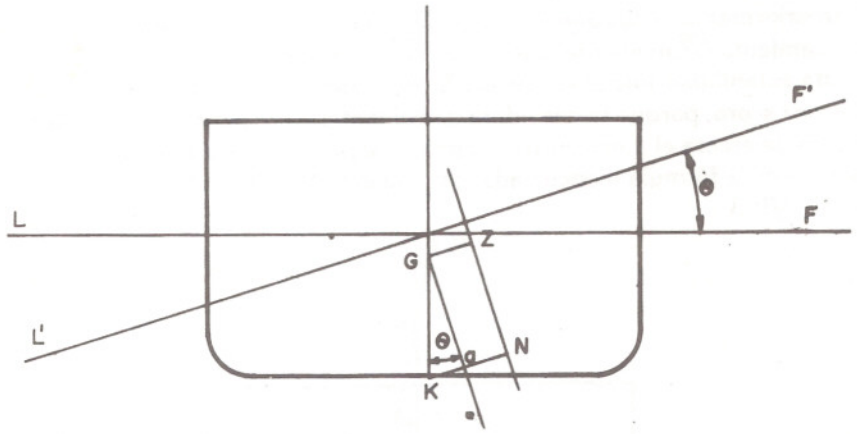


Fig. VII - 6

$\overline{GZ} = \overline{KN} - \overline{KG} \operatorname{sen} \theta$, siendo:

$\overline{KN}$ un valor obtenido mediante unas curvas que ya están graficadas llamadas «curvas cruzadas» que las veremos más adelante.

$\overline{KG}$ se calcula generalmente por el cociente de la sumatoria de todos los momentos verticales (Σ Mv) por el desplazamiento (D).

Gráficamente podemos apreciar que: $\overline{GZ} = \overline{KN} - \overline{Ka} = \overline{aN}$, como la distancia $\overline{GZ}$ y $\overline{aN}$ está comprendidas entre paralelas y sus direcciones son perpendiculares al empuje, por lo tanto, son iguales.

Hallando los valores de $\overline{GZ}$ para los ángulos de 10 en 10 o de 15 en 15 grados según estén calculados en las curvas cruzadas, se pueden construir en un sistema de ejes cartesianos la curva de brazos de estabilidad estática transversal.

7.6. CURVAS CRUZADAS DE ESTABILIDAD O CURVAS $\overline{KN}$ (*)

Las curvas cruzadas de estabilidad se calculan cuando se construye el buque y se presentán en un par de ejes coordenados cartesianos. (Fig. VII-7).

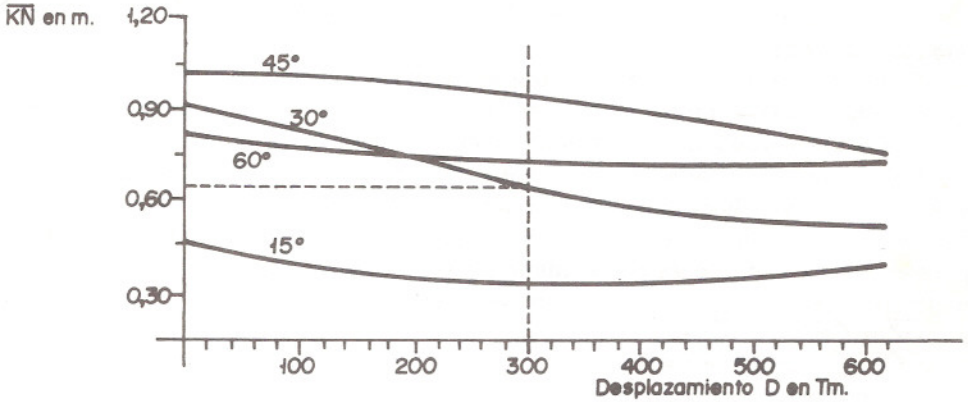


Fig. VII-7 CURVAS CRUZADAS KN CADA 15° DE ESCORA.

En las abscisas representan las toneladas de desplazamiento (D) y en las ordenadas los valores de los brazos $\overline{KN}$ en metros o pies.

Cada curva viene dada para un determinado ángulo de escora, en el ejemplo de referencia están las curvas cada 15 grados de escora, en ciertos buques se calculan cada 10 grados. Fig. VII-8.

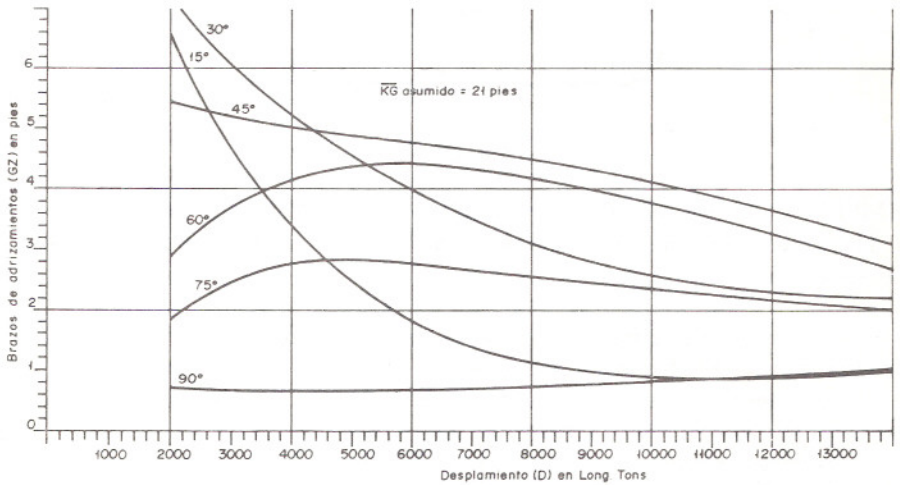


Fig. VII-8 CURVAS CRUZADAS DE BRAZOS GZ ASUMIDOS.

(*) Ver curvas cruzadas del atunero «Aratz» al final de este capítulo.

EJEMPLO N° 31. Hallar el brazo KN en la Fig. VII-7 para una escora de 30 grados y un desplazamiento de 300 Tm.

a) Se entra en las abscisas con D = 300 Tm.

b) Se levanta una vertical paralela a las ordenadas hasta interceptar la curva cruzada que representa los 30° de escora.

c) Se lleva el valor de la intercepción hasta la ordenada de los $\overline{KN}$ siendo en este caso de 0,65 m.

En muchos buques las curvas cruzadas están calculadas asumiendo una determinada altura de G, entonces los valores de las ordenadas van a ser brazos $\overline{GZ}$ y no brazos KN que son cuando el G asumido se encuentra en la quilla (K). Fig. VII-8.

En las curvas cruzadas de este buque de la Fig. VII-8 el $\overline{KGa}$ que se asumió para realizar el cálculo de los brazos $\overline{GaZa}$ (en vez de brazos $\overline{KN}$) fue de un valor de 21 pies sobre la quilla. La altura del centro de gravedad $\overline{KG}$ asumida tiene un valor que siempre va a ser menor que el mínimo $\overline{KG}$ en cualquier condición de carga del buque, para que de esta manera se cumpla la relación siguiente:

$\overline{GZ} = \overline{GaZa} - \overline{GGa}$ sen θ

$\overline{GGa}$ = distancia entre G y Ga

$\overline{GaZa}$ = brazo de adrizamiento asumido

En la Fig. VII-9 se puede apreciar la relación anterior.

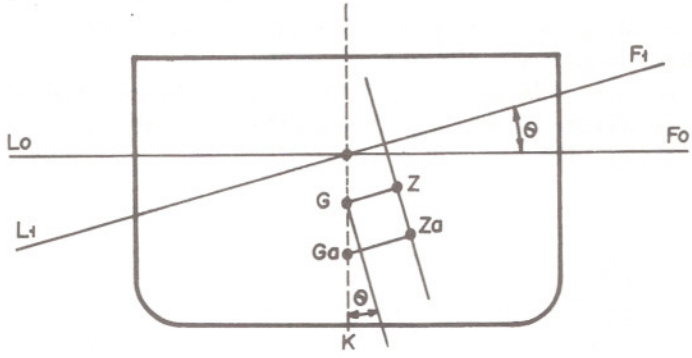


Fig. VII - 9

EJEMPLO N° 32. El buque de la Fig. VII-8 tiene un desplazamiento D = 10.000 L/T. Hallar los brazos de adrizamiento para 15° y 45° , sabiendo que su $\overline{KG}$ = 23'. Respuesta:

a) Se entra en las curvas cruzadas de la Fig. VII-8 con el D = 10.000 L/T se sigue por la ordenada hasta las curvas de 15° y 45°

b) Se obtiene en la escala de la izquierda de brazos de adrizamientos asumidos $\overline{GaZa}$ para 15° es 0,9' y para 45° es 4,1' .

c) Entonces aplicando la fórmula $\overline{GZ} = \overline{GaZa} - \overline{GG}$asen θ

GGa = KG − KGa = 23 − 21 = 2' (pies)

$GZ_{15°}$ = GaZa − GGa.sen θ = 0,9 − 2.sen 15° = 0,9 − 0,52 = 0,38'

$GZ_{45°}$ = GaZa − GGa.sen θ = 4,1 − 2.sen 45° = 4,1 − 1,41 = 2,69'.

EJERCICIOS

1. El atunero «Aratz» tiene un desplazamiento de 2.280 Tm. y un $\overline{KG}$ = 5,05 m. Calcular la altura metacéntrica.

R.: $\overline{GM}$ = 0,47 m.

2. Hallar el brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) del ejercicio anterior cuando el buque se escora 8 grados.

R.: $\overline{GZ}_{8^\circ}$ = 0,065 m.

3. Hallar el brazo $\overline{GZ}$ para 20 grados de escora del atunero «Aratz» sabiendo que tiene un desplazamiento de 2300 Tm. y un $\overline{KG}$ = 5,00 m.

R.: $\overline{GZ}_{20^\circ}$ = 0,19 m.

4. El buque de la Fig. VII-8 tiene un desplazamiento de 8000 L/T y un $\overline{KG}$ = 22'06''. Calcular el brazo de adrizamiento a los 15 grados de escora.

R.: $\overline{GZ}_{15^\circ}$ = 0,76 pies = 9,1''.

CAPITULO VIII

CURVAS DE ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL

8.1. TRAZADO DE LA CURVA DE ESTABILIDAD

Habíamos visto que los brazos de adrizamiento $\overline{GZ}$ se calculaban mediante la fórmula: $\overline{GZ} = \overline{KN} - \overline{KG}$ sen θ

El momento de estabilidad o par de estabilidad es $\overline{GZ}$ x D.

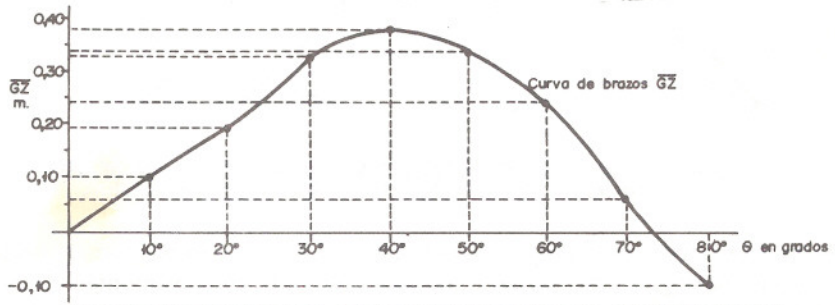
Obteniendo los valores de $\overline{KN}$ y luego restándole el valor $\overline{KG}$ sen θ se tienen los $\overline{GZ}$ para los diferentes ángulos de escora. Estos resultados llevados a un sistema de ejes cartesianos en donde las abscisas representan los ángulos de escora (θ) y en las ordenadas los brazos $\overline{GZ}$ en metros o pies.

Veamos mediante un ejemplo:

EJEMPLO N° 33. El buque atunero «Aratz» tiene un desplazamiento de 2.250 Tm. y un $\overline{KG}$ = 5,00 m. Trazar la curva de brazos de estabilidad estática transversal.

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\overline{KN}$	0,97	1,90	2,83	3,59	4,17	4,57	4,76	4,82	—
$\overline{KG}$sen. θ	0,87	1,71	2,50	3,21	3,83	4,33	4,70	4,92	—
$\overline{GZ}$	0,10	0,19	0,33	0,38	0,34	0,24	0,06	−0,10	—

Luego de obtenidos los valores de $\overline{GZ}$ se llevan a las ordenadas de un par de ejes cartesianos y en las abscisas los ángulos de escora θ .



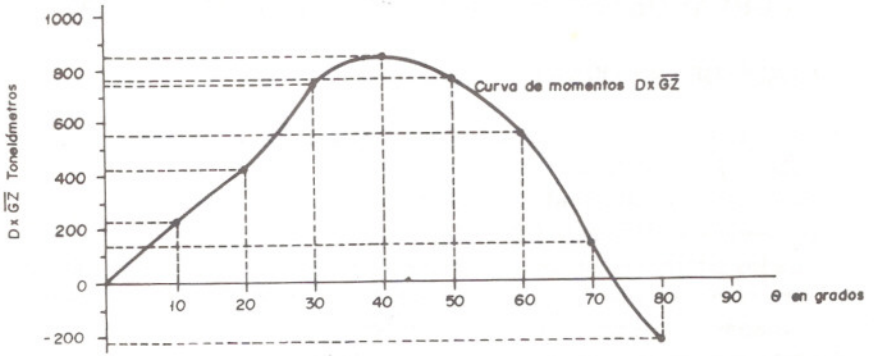
CURVA DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL.

Muchas veces se traza la curva de par o momento de estabilidad que es una curva similar a la anterior, teniendo la misma forma para la misma condición de carga del buque. En el ejemplo anterior si se hubiera pedido la curva del par de estabilidad, se procedería de la siguiente forma:

En el eje de las abscisas se representan los ángulos de escora θ y en las ordenadas los momentos del par de estabilidad (D x $\overline{GZ}$), este valor se obtendrá multiplicando los GZ por el desplazamiento D y el resultado estará dado en tonelámetros.

θ	10	20	30	40	50	60	70	80
DxGZ	225,0	427,5	742,5	855,0	765,0	540,0	135,0	−225,0

Llevados estos valores a un sistema de ejes cartesianos obtenemos:



CURVA DE PAR DE ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL.

Según la forma de esta curva de estabilidad estática se van a interpretar las condiciones de estabilidad del buque relacionadas con su seguridad.

En la Fig. VIII-1 se representan varias curvas A, B y C para un mismo buque pero en distintas condiciones de carga.

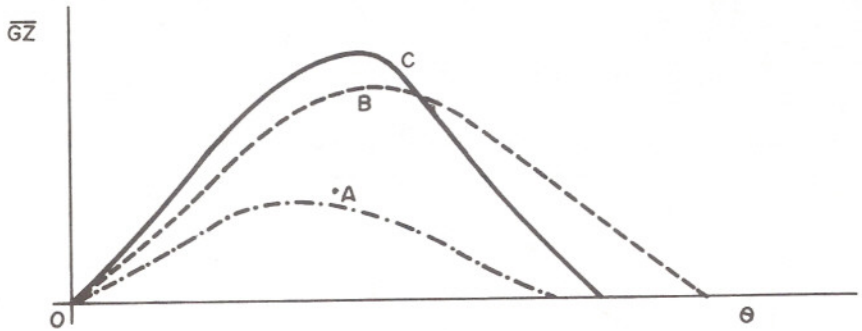


Fig. VIII - 1 CURVAS DE ESTABILIDAD ESTATICA DE UN MISMO BUQUE EN DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA.

Al analizar estas curvas se podrá conocer si el buque cumple con los requisitos mínimos para navegar, más adelante estudiaremos los criterios de estabilidad para los distintos tipos de buques.

8.2. ESTUDIO DE LA CURVA DE ESTABILIDAD ESTATICA TRANSVERSAL

La curva parte del origen (Fig. VIII-2) porque $\theta = 0$, $\overline{GZ} = \overline{GM}$ sen $\theta = 0$, luego es casi una línea recta hasta el ángulo de escora θ_1 donde tiene límite la estabilidad inicial. Luego de este ángulo θ_1 la curva aumenta rápidamente hasta la inclinación θ_2, ángulo en el cual la línea de flotación comienza a mojar la cubierta. De aquí la curva sigue aumentando más lentamente hasta la inclinación θ_3, la curva presenta un máximo en su ordenada o brazo $\overline{GZ}$, luego la curva comienza a disminuir hasta el ángulo de escora θ_5, en el cual el $\overline{GZ}$ se anula porque $\overline{GM} = 0$ cuando coincide el metacentro M con el centro de gravedad G y el buque tiene equilibrio indiferente.

Después del ángulo θ_5 donde la curva corta el eje de las abscisas el valor del $\overline{GM}$ es menor que cero y el buque tiene equilibrio inestable y se da la vuelta.

La curva tendría la misma forma si en vez de representar en las ordenadas los brazos $\overline{GZ}$, se hubieran representado los momentos del par de estabilidad.

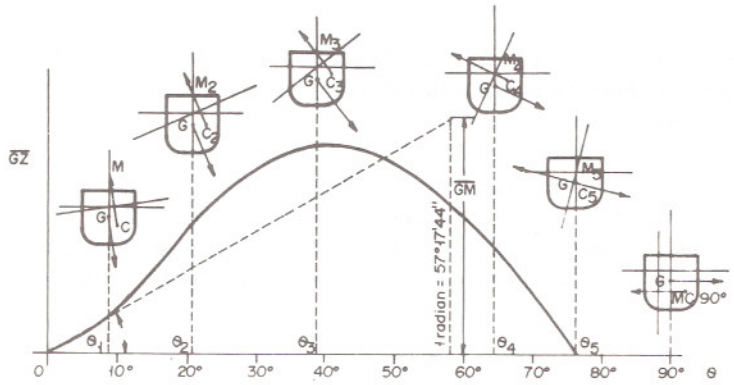


Fig. VIII - 2 CURVA DE ESTABILIDAD ESTATICA.

8.2.1. Características de la curva de estabilidad estática

Estas características de la curva de estabilidad estática son las que nos permiten comparar las condiciones de estabilidad en un mismo buque entre dos estados de carga o entre buques diferentes.

a) Inclinación en el origen

Es muy importante porque la tangente en el origen de la curva nos da el valor del $\overline{GM}$, Fig. VIII-2 se representa gráficamente, $\overline{GM}$ tomado en la ordenada de 1 radián = 57°17'44.8''. Si el ángulo α es mayor, comparado con otro de otra curva la estabilidad inicial va a ser mayor también.

b) Máximo de la curva

Es el ángulo de escora en θ_3 donde el brazo de adrizamiento es mayor, corresponde a escoras superiores a 30° o 35°.

c) Angulo límite o crítico de estabilidad estática

Es el ángulo de escora θ_5 en la Fig. VIII-2, en esta inclinación el brazo de adrizamiento se anula, por lo tanto, la estabilidad también se anula. Normalmente tiene un valor mayor de 70°, nos interesa que sea lo más grande posible para que el buque tenga mayor margen para su estabilidad.

d) El área comprendida entre la curva y el eje de las abscisas

Esta área comprendida nos representa un trabajo que es necesario efectuar para anular la estabilidad. Es conveniente que esta área sea lo mayor posible para que el buque tenga buena estabilidad. En el Cap. IX estudiaremos la estabilidad dinámica con mayor detención.

8.3. INFLUENCIA DE LA OBRA MUERTA SOBRE LA ESTABILIDAD

8.3.1. Influencia de la manga en la estabilidad

Si comparamos dos buques de igual carena, por lo tanto el mismo desplazamiento y la misma altura del centro de gravedad ($\overline{KG}$) pero distinta manga en su obra muerta estos buques van a tener distinta estabilidad porque va a influir en altura del metacentro ($\overline{KM}$).

Veamos en la Fig. VIII-3 el buque A y B al escorarse un ángulo θ, las mangas M y M' de los respectivos buques van a variar M < M', como sabemos que $\overline{KM} = \overline{KC} + \overline{CM}$ (Altura centro de carena + radio metacéntrico).

El radio metacéntrico $\overline{CM}$ va a variar con el cuadrado de la manga en la flotación, entonces el $\overline{KM}$ va aumentar más en el buque B que en el buque A, por este

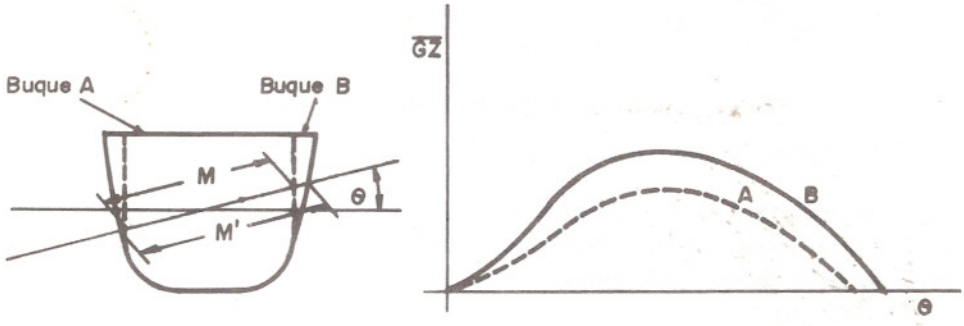


Fig. VIII - 3 EL BUQUE B TIENE MAYOR ESTABILIDAD QUE EL BUQUE A.

motivo la curva del buque B seguirá por encima de la curva del buque A y tendrá mayor estabilidad.

Por este motivo a los buques se les construyen embonos en sus costados a la altura de la línea de flotación para que estos tengan mayor estabilidad. Fig. VIII-4.

Lo dicho anteriormente, para buques que tengan la obra muerta con mayor manga se puede generalizar para los buques con mayor manga teniendo la misma eslora, calado y $\overline{KG}$ tienen mayor estabilidad.

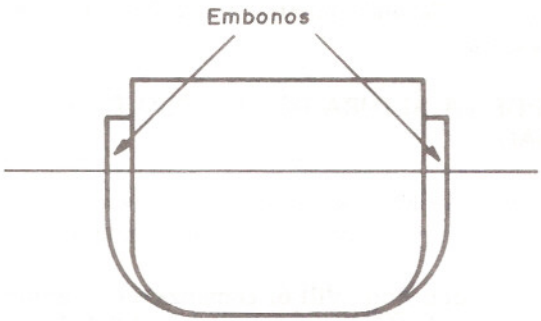


Fig. VIII - 4 BUQUE CON EMBONOS.

8.3.2. Influencia del francobordo en la estabilidad

Considerando ahora dos buques que tengan el mismo volumen de carena, calado y altura del centro de gravedad G, pero de diferente francobordo, tendrán la misma estabilidad hasta la escora θ en la cual el buque de menor francobordo meta la borda en el agua.

Veamos en la figura VIII-5 los buques A y B, en donde el A tiene menor francobordo que el B. En el ángulo de escora θ el buque A mete la borda en el agua. Francobordo buque A (f_A) < francobordo buque B (f_B).

La curva de estabilidad estática transversal del buque B es igual a la del buque A hasta el ángulo θ, luego los brazos de adrizamiento del B son mayores, de ello se deduce que los buques con mayor francobordo tienen mejor condición de estabilidad y seguridad, que los que tienen francobordo pequeño.

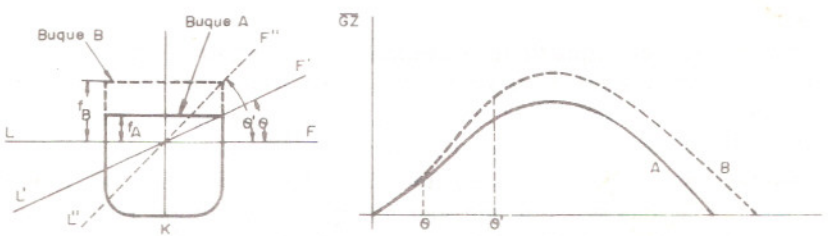


Fig. VIII - 5 EL BUQUE B TIENE MAYOR ESTABILIDAD QUE EL BUQUE A.

Esto se explica también porque el $\overline{KM} = \overline{KC} + \overline{CM}$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = \overline{KC} + \overline{CM} - \overline{KG}$$

$$\text{el } \overline{CM} = \frac{It}{\forall s} = \frac{\text{Momento de inercia transversal}}{\text{Volumen de carena}}$$

El It es función del cubo de la manga de la superficie de flotación, entonces se puede apreciar que después de la escora θ el buque A comienza a disminuir la

manga de las sucesivas flotaciones mientras que el buque B continúa aumentando hasta el ángulo de escora θ

8.4. INFLUENCIA DE LA ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD G EN LA ESTABILIDAD

La altura metacéntrica $\overline{GM}$ es la que le da al buque mayor o menor estabilidad, entonces esta distancia está muy ligada a la posición del metacentro M y del centro de gravedad G.

Si en un mismo buque (Fig. VIII-6) comenzamos a aumentar la altura del centro de gravedad $\overline{KG}$ desde $\overline{KG}'$ cuya curva de estabilidad estática transversal es A', veremos que para $\overline{KG}''$, $\overline{KG}'''$ y $\overline{KG}^{iv}$ corresponderán a las curvas A'', A''' y A^{iv} respectivamente, podemos observar que la estabilidad comienza a disminuir

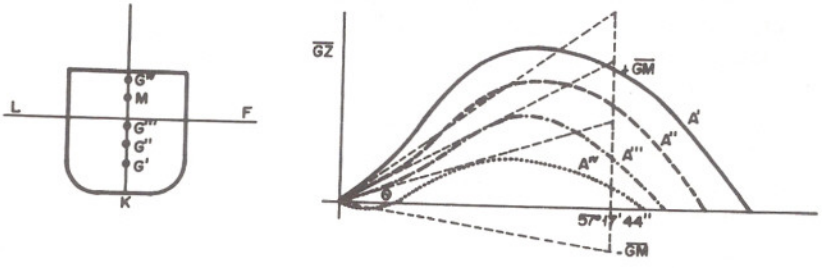


Fig. VIII - 6 BUQUE CON DIFERENTE $\overline{KG}$ Y SU CURVA DE ESTABILIDAD RESPECTIVA.

por la forma de la curva, y el área que ella encierra con el eje de las abscisas es cada vez menor.

En la curva A^{iv} el buque tiene estabilidad inicial negativa y recién en el ángulo de escora θ comienza a hacerse positiva. En este caso el buque permanece escorado con el ángulo θ a babor o estribor, siendo muy peligrosa esta condición porque al actuar una fuerza exterior viento o mar, sobre el costado escorado, el buque pasaría a escorarse hacia la otra banda, pero con la inercia que lleva el buque en su balance, éste sería más pronunciado, por ejemplo si un buque está escorado por tener el $\overline{GM}$ negativo inicial 10° a babor al pasar a la otra banda (estribor) su balance llegaría a un ángulo de 15° a 20° de escora.

El caso de estabilidad negativa puede ocurrir cuando no se posean suficientes pesos bajos por consumo de combustible, agua potable o los tanques de lastre vacíos o también cuando el buque tenga pesos altos como trojas en cubierta, cargado de los entrepuentes y poca carga en los fondos de bodegas.

Un buque pierde estabilidad con la acumulación de hielo en las partes altas, como palos, jarcias y cubiertas, los buques pequeños como costaneros o pesqueros pueden sufrir graves consecuencias por este motivo.

Un «enemigo de la estabilidad» como suelen decir ciertos autores es el efecto

de superficie libre que estudiaremos más adelante. Se debe evitar tener tanques con líquidos que no estén completamente llenos.

EJERCICIOS

1. El buque atunero «Aratz» tiene un desplazamiento de 2.300 Tm., el $\overline{KG}$ = 5,10 m. Se pide:

a) Trazar las curvas de brazos y momentos de estabilidad estática
b) Trazar la tangente en el origen de la curva de brazos
c) Indicar el máximo brazo de adrizamiento y el ángulo en el cual se produce
d) Dar el ángulo crítico de estabilidad estática.

R.: c) $\overline{GZ}$máx. = 0,32 m. y θ = 40°; d) θ = 69°.

2. Comparados dos buques el A y el B que son gemelos, e igual desplazamiento, solamente difieren en que el A tiene mayor $\overline{KG}$ que el B. El buque A tiene mayor estabilidad que el B?

R.: Falso.

CAPITULO IX

ESTABILIDAD DINAMICA

9.1. GENERALIDADES

Hasta el momento hemos estudiado la estabilidad estática transversal, sin considerar las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque para sacarlo de su posición de equilibrio y escorarlo, estas fuerzas puden ser el viento o el mar.

La estabilidad dinámica la podemos definir como el trabajo realizado por el buque al inclinarse un ángulo θ . Fig. IX-1.

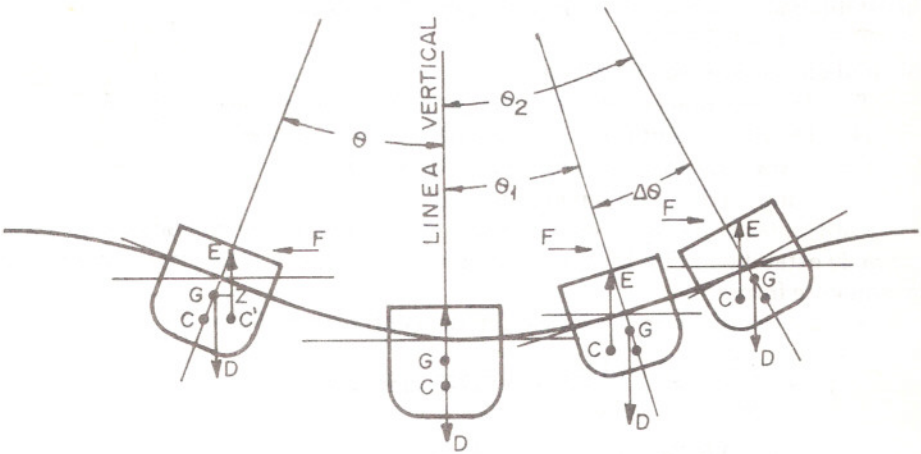


Fig. IX - 1

El trabajo realizado por cualquier móvil, es el producto de una fuerza por el espacio recorrido, esto nos da la sensación de movimiento, aplicado al buque, como el movimiento que realiza es rotatorio está ejercido por un par de fuerzas o cupla ($D \times \overline{GZ}$) que lo hacen mover un ángulo θ

El trabajo elemental para que el buque cambie de un ángulo de escora θ_1 a θ_2 que es igual a $\Delta\ \theta$ es: $\Delta\ T = D \times \overline{GZ} \times \Delta\ \theta$

El trabajo total será: $T = \Sigma\ D \times \overline{GZ} \times \Delta\ \theta$

En la Fig. IX-2 la estabilidad dinámica estará representada por el área rayada

cuando el buque se escora 20 grados y el resto del área bajo la curva será la reserva de estabilidad que el buque posee.

Fig. IX - 2

La estabilidad dinámica total será toda el área bajo la curva de estabilidad estática transversal, si el buque realiza todo el trabajo hasta la escora θ el buque se da la vuelta porque no le queda reserva de estabilidad.

9.2. MEDIDAS USADAS EN LA ESTABILIDAD DINAMICA

Habíamos visto que la estabilidad dinámica era el trabajo realizado por el par de estabilidad para hacerlo girar un ángulo θ, es decir:

$T = D \times \overline{GZ} \times \Delta\theta$

las unidades usadas son las siguientes:

T = Trabajo total en tonelámetros por radián o tonelapies por radián

D = Desplazamiento en toneladas métricas o toneladas largas

$\overline{GZ}$ = Brazo de adrizamiento en metros o pies

θ = Angulo de escora en radianes.

Para hallar el trabajo o estabilidad dinámica entre determinados ángulos de la curva de estabilidad Fig. IX-3, por ejemplo entre 25° y 30° de escora se procede de la siguiente forma:

a) se convierte en radianes la diferencia entre 30° y 25° = 5°

$$1^\circ = \frac{2\pi}{360} = \frac{2 \times 3.1416}{360} = 0.01745 \text{ radianes}$$

$$5^\circ = 5 \times 0.01745 = 0.08725 \text{ radianes}$$

b) se halla la base media del trapecio ABCD que es $\overline{ab}$ en tonelámetros

$$\overline{ab} = \frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2} = \frac{900 + 950}{2} = 925 \text{ tonelámetros}$$

c) el área del trapecio ABCD o Δ T estará dado por la altura $\overline{AD}$ por la base media $\overline{ab}$.

$T = \overline{AD} \times \overline{ab} = 0.08725 \times 925 = 80.706$ Tonelámetros.radián

Cuando la curva de estabilidad estática es de brazos de adrizamiento $\overline{GZ}$ en sus

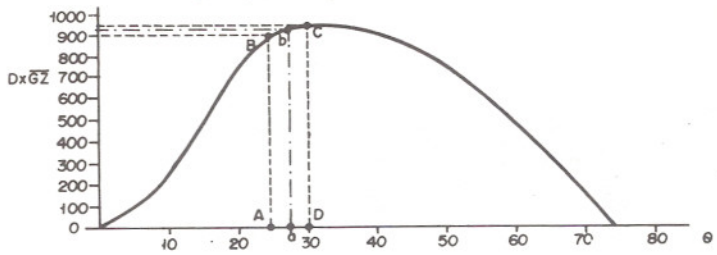


Fig. IX - 3

ordenadas en vez de ser momentos D x $\overline{GZ}$ la estabilidad se mide en metros-radián o en el caso que $\overline{GZ}$ estuviera en pies se expresaría en pies-radián.

9.3. TRAZADO DE LA CURVA DE ESTABILIDAD DINAMICA

Para el trazado de la curva de estabilidad dinámica se llevan a un sistema de ejes coordenados cartesianos en las abscisas los ángulos de escora en grados y en las ordenadas los valores de las estabilidades dinámicas parciales en tonelámetros-radián o metros-radián en el sistema métrico decimal.

Las estabilidades parciales o áreas parciales que se van calculando debajo de la curva de estabilidad estática se hallan mediante los métodos aproximados (Ver Apéndice 2) de los trapecios o de Simpson, normalmente las separaciones de las ordenadas en las abscisas se hacen cada 10° o 15° grados.

Veamos mediante un ejemplo el trazado de la curva de estabilidad dinámica:

EJEMPLO N° 34. Un buque de un desplazamiento de 3000 Tm. tiene la curva de estabilidad estática mostrada en la Fig. IX-4. Trazar la curva de estabilidad dinámica correspondiente.

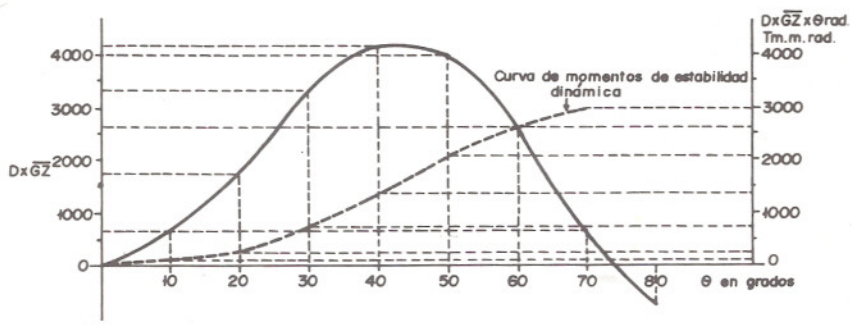


Fig. IX - 4 CURVAS DE MOMENTOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y DE PARES O MOMENTOS DE ESTABILIDAD DINAMICA.

CALCULO DE LA ESTABILIDAD DINAMICA

θ	Ordenada media Tm.m.	$10 \times \frac{2\ \pi \text{ rad.}}{360}$	Dinámica parcial Tm.m.radián	Dinámica total Tm.m.radián
0 - 10	350	0.1745	61.075	61.075
10-20	1250	0.1745	218.125	279.200
20-30	2550	0.1745	444.975	724.175
30-40	3750	0.1745	654.375	1378.550
40-50	4100	0.1745	715.450	2094.000
50-60	3350	0.1745	584.575	2678.575
60-70	1700	0.1745	296.650	2975.225
70-80				
80-90				

Se procedió de la siguiente forma para obtener este cuadro:

a) En la primera columna se colocaron los ángulos de 10° en 10° tal como se dividieron las abscisas.

b) En la segunda columna se calcularon los valores de las ordenadas medias en tonelámetros; por ejemplo entre 30° y 40° se obtuvo el valor haciendo la semi-suma de las ordenadas de 30° y 40°, de donde $\frac{3300 + 4200}{2} = 3750$ tonelámetros.

c) La tercera columna representa el valor de 10° en radianes.

d) La cuarta columna se obtuvo mediante el producto de la segunda por la tercera columna y dio las dinámicas parciales o áreas parciales en tonelámetros por radián.

e) La quinta columna representa la estabilidad dinámica total hasta el grado de escora que indica la primera columna; por ejemplo la estabilidad dinámica total hasta los 40° es 1378.550 tonelámetros-radián.

Estos valores de esta última columna se llevan al mismo sistema de ejes coordenados que se encuentra la curva de estabilidad estática, luego de plotear los puntos se unen y nos da la curva de estabilidad dinámica. Las ordenadas de la curva de estabilidad dinámica se miden en tonelámetros-radián, como indica la ordenada a la derecha de la Fig. IX-4.

La curva trazada anteriormente se llama curva de estabilidad dinámica de pares ($\Sigma D \times \overline{GZ} \times \Delta\ \theta$) y está expresada en tonelámetros por radián, pero muchas veces se usa la curva de estabilidad dinámica de brazos ($\Sigma\ \overline{GZ} \times \Delta\ \theta$) y se mide en metros por radián o milímetros por radián (mm-radián), esta última unidad es muy práctica trabajar con ella porque se tienen valores enteros y se evitan los decimales.

A continuación trazamos la curva de estabilidad dinámica de brazos del ejemplo anterior expresada en milímetros por radián. Fig. IX-5.

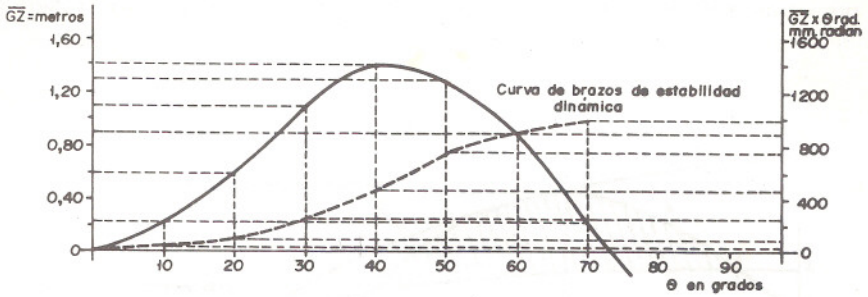


Fig. IX-5 CURVAS DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y DINAMICA

El cuadro se procede de forma análoga al anterior, lo que van a variar son las unidades debido a que se parte de la curva de estabilidad estática de brazos.

9.4. PAR ESCORANTE Y RESERVA DE ESTABILIDAD

Una fuerza aplicada al buque ya sea exterior o interior, como el viento, mar, corrimiento de pesos, inundación, etc., producen en el buque una pérdida de su estabilidad.

Si no actuara ninguna fuerza o par que hiciera escorar al buque, la estabilidad del mismo se representa por el área que queda encerrada por la curva de estabilidad estática y el eje de las abscisas o sea su estabilidad dinámica. En este caso no existe ningún trabajo motor por lo tanto el buque se encuentra en equilibrio.

Ahora bien, si corriéramos un peso p una distancia transversal d_t Fig. IX-6

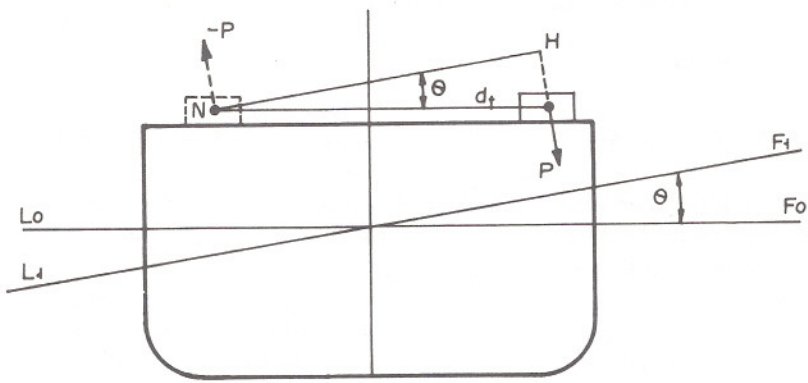


Fig. IX-6 PAR ESCORANTE

el buque se escora un ángulo θ y el momento escorante será:

$$p \times \text{brazo} = p \times \overline{NH} = p \times d_t \cdot \cos \theta$$

Sea en la Fig. IX-7 la representación de una curva de momentos OAB y la curva de momentos escorantes RSD (es una cosinusoide). Si hablamos en términos de trabajo que efectuaría el par escorante, sería el área que queda debajo de la curva RSD, este trabajo sería el que pierde la estabilidad del buque que era el represen-

tado por el área OAB, entonces nos quedaría el área SAD' llamada reserva de estabilidad.

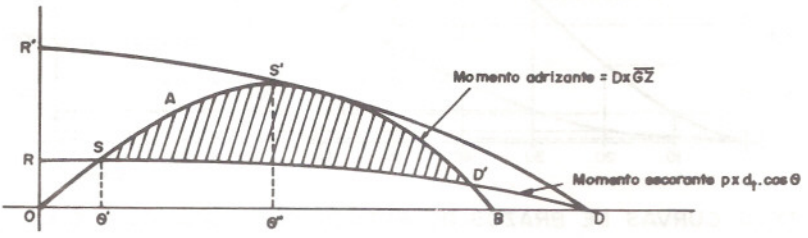


Fig. IX-7 PARES O MOMENTOS ADRIZANTE Y ESCORANTE.

El punto S en donde se anulan los brazos adrizantes y escorantes, está representado por el ángulo θ ' ésta sería la escora que produciría el par escorante, llamado ángulo de equilibrio estático.

Si el momento escorante fuera mayor y estuviera representado por la cosinusoide R'S'D tangente en S' a la curva de estabilidad estática, el ángulo de equilibrio estático se encontraría en θ '', llamado ángulo crítico estático, que en realidad el buque no posee reserva de estabilidad y por lo tanto daría la vuelta.

Por lo dicho anteriormente la reserva de estabilidad está dada por la diferencia entre el par adrizante y el par escorante, en la Fig. IX-8 para la escora θ '' es HN.

El ángulo θ ' de equilibrio estático estará dado cuando se igualen los momentos adrizante y escorante, de donde D x $\overline{GM}$.sen θ = p.d_t.cos θ ; el ángulo de escora permanente se halla analíticamente:

$$Tg\ \theta = \frac{p.d_t}{D \times \overline{GM}}$$

9.5. EFECTO DINAMICO DÈL PAR ESCORANTE Y RESERVA DE ESTABILIDAD

Lo estudiado en el epígrafe anterior respecto al par escorante y la reserva de estabilidad era considerando el buque estáticamente; aquí veremos el efecto del par escorante provocado por el viento, olas, etc..

Para que el buque permanezca en equilibrio por efecto de un par escorante, el trabajo motor tiene que ser igual al trabajo resistente, pero cuando existe movimiento de cualquier cuerpo hay que considerar la energía cinética o fuerza viva, ésta está dada por la ecuación del movimiento, siguiente:

Trabajo motor — Trabajo resistente = Fuerza viva = $1/2.m.v^2$

m = masa del cuerpo o buque

v = velocidad del movimiento del buque

Veamos su explicación Fig. IX-8 el par escorante p x d_t cos θ que representa la curva RSD, en el ángulo θ ' existe equilibrio estático, pero a este ángulo el par motor ha hecho un trabajo ORS θ ' y el par resistente un trabajo OS θ ', por lo tanto el trabajo motor es mayor que el resistente una cantidad ORS que representa la

fuerza viva, por su inercia que lleva a una velocidad v en θ ' continúa escorándose hasta el ángulo θ '' en donde se anula la velocidad v = 0 y el área ORS es igual SNH, entonces el trabajo motor es igual al trabajo resistente, o sea existe un equilibrio dinámico, el ángulo θ '' se llama ángulo de equilibrio dinámico.

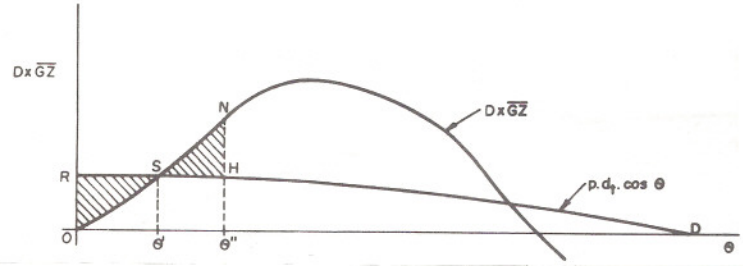


Fig. IX-8 REPRESENTACION GRAFICA DEL ANGULO DE EQUILIBRIO DINAMICO θ.''

En el ángulo θ '' se dijo que la velocidad v = 0, el buque queda parado, entonces comienza a actuar el par adrizante como motor hacia la otra banda, debido a que el par adrizante es mayor que el escorante. Al pasar por el ángulo 'θ ' no se detendrá debido a que tiene una velocidad por su energía cinética, continuando hacia la otra banda, hasta anularse la velocidad v = 0 en donde el trabajo motor se hace igual al trabajo resistente. Así continuará el buque oscilando alrededor del ángulo θ '; debido al rozamiento permaneciendo el momento constante las oscilaciones serán cada vez menores hasta su anulación y el buque quedará con una escora de θ'.

El ángulo de equilibrio dinámico se puede hallar trazando las curvas de estabilidad dinámica del par escorante y de la curva de momentos adrizantes Fig. IX-9

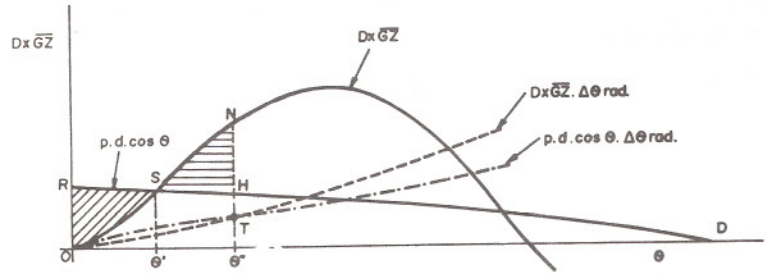


Fig. IX-9 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS PARES ADRIZANTES Y ESCORANTES Y SUS RESPECTIVAS CURVAS DINAMICAS.

en donde se corten en el punto T, la abscisa correspondiente será el ángulo θ ''.

Si en la Fig. IX-10 el par escorante estuviera representado por la cosinusoide EFGD, en el punto G donde se igualan los trabajos motor y resistente correspondiente al ángulo θ '' o sea que el área OEF es igual a la FAG, esta última la reserva de estabilidad, el ángulo de escora 'θ '' se llama ángulo crítico dinámico, en este ángulo de escora el buque se daría vuelta.

Como se puede apreciar la estabilidad dinámica, nos da una idea mucho más veraz que la estática, en esta misma figura el buque si fuera considerado en un medio estático en el ángulo de escora θ '' aún tiene una reserva de estabilidad, pero dinámicamente a partir de ese ángulo el buque se daría vuelta.

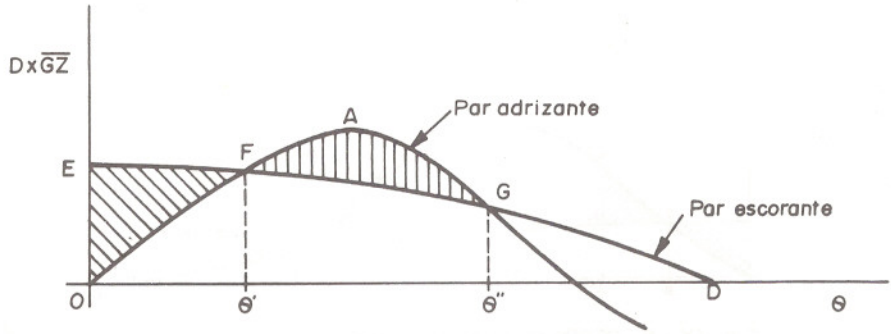


Fig. IX-10 ANGULO DE ESCORA CRITICO DINAMICO.

EJERCICIOS

1. El buque «Aratz» se halla en la siguiente condición: D = 2.319 Tm., $\overline{GM}$ = 0,64 m.. Se pide:
   1) Curva de brazos de la estabilidad estática
   2) Curva de brazos de la estabilidad dinámica.

R.: Brazos/	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
$\overline{GZ}$	0,12	0,23	0,38	0,46	0,45	0,36	0,17	0,03	m.
GZ x θ rad.	10	31	84	157	236	307	353	370	mm.radianes

2. Un buque se encuentra adrizado, siendo sus brazos de adrizamientos los siguientes: $\overline{GZ}$ para 15° = 0,1958 m.; $\overline{GZ}$ para 30° = 0,665 m.; $\overline{GZ}$ para 45° = 0,6534 m.
   Hallar los brazos dinámicos a 30° y 45°.

R.: Brazo para 30° = 138 mm.rad. y Brazo para 45° = 311 mm.rad.

CAPITULO X

ESTABILIDAD LONGITUDINAL

10.1. GENERALIDADES

En capítulos anteriores hemos estudiado el movimiento del buque sobre un eje longitudinal sobre el cual rotaba, produciendo escora al mismo, ahora estudiaremos al buque cuando lo hacemos rotar sobre un eje transversal haciendo que el buque sumerja un extremo y emerja el otro, siempre que ésto ocurra por aplicación de una fuerza exterior y el buque vuelva a su posición inicial, se dice que el buque tiene estabilidad longitudinal positiva. Análogamente como a la estabilidad transversal se puede realizar el estudio de la estabilidad longitudinal, pero normalmente no se trazan estas curvas debido a que los buques tienen muy buena estabilidad en este sentido. Un buque que pierda esta estabilidad se hundiría de proa o popa.

Si en la Fig. X-1 el buque se encontraba inicialmente en la flotación LoFo, su centro de carena en C y su centro de gravedad en G, al cambiar a la nueva línea de flotación L'F' el centro de carena C se traslada al C' porque la cuña de agua FoFF' de proa se traslada hacia LoFL' en popa.

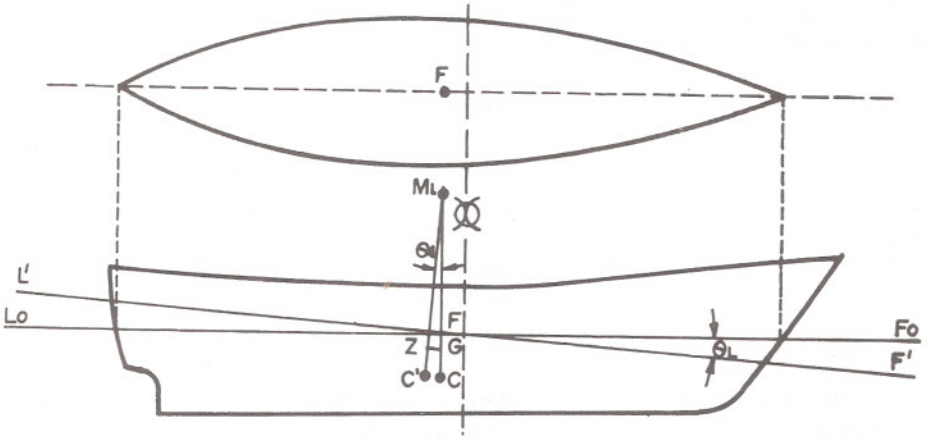


Fig. X - 1 SUPERFICIE DE LA FLOTACION Y PLANO LONGITUDINAL.

El metacentro longitudinal M_L se encuentra en la intersección de la perpendicular que pasa por el centro de carena C' y la perpendicular que inicialmente pasaba por C.

El ángulo θ_L (tita longitudinal) es el ángulo de inclinación que va a tener el buque hacia proa o popa.

La distancia $\overline{CM}_L$ es el radio metacéntrico longitudinal, que es muy grande con respecto al radio metacéntrico transversal, debido a que varía en función directa del cubo de la eslora. El radio metacéntrico longitudinal se halla de la siguiente manera:

$$\overline{CM}_L = \frac{I_L}{Vc} = \frac{\text{Momento de inercia longitudinal de la superficie de flotación}}{\text{Volumen sumergido o de carena}}$$

La distancia $\overline{GZ}$ es el brazo de estabilidad longitudinal.

La distancia $\overline{GM}_L$ es la altura metacéntrica longitudinal, y tiene un valor entre 0,5 y 1,5 de la eslora (E), es por ello que los buques tienen gran estabilidad longitudinal y es muy difícil que se «cuelen por ojo» como se suele decir cuando la pierden.

Como la distancia del centro de carena al centro de gravedad $\overline{CG}$ es muy pequeña con relación al radio metacéntrico $\overline{CM}_L$ se puede tomar sin error apreciable el $\overline{CM}_L$ como altura metacéntrica $\overline{GM}_L$ aproximada.

EJEMPLO N° 35. Hallar la altura metacéntrica longitudinal $\overline{GM}_L$ aproximada del buque atunero «Aratz» para un desplazamiento de 2.100 Tm.

$\overline{KM}_L - \overline{KC} = \overline{CM}_L \simeq \overline{GM}_L$

Obteniendo de las curvas hidrostáticas los valores de $\overline{KM}_L$ y $\overline{KC}$ se restan y nos da el valor aproximado de $\overline{GM}_L$.

$\overline{KM}_L = 31{,}5 \text{ cm.} \times 2 \text{ m.} = 63{,}0 \text{ m.}$

$\overline{KC} = 28{,}8 \text{ cm.} \times 0{,}10 \text{ m.} = 2{,}88 \text{ m.}$

$\overline{GM}_L = \overline{KM}_L - KC = 63{,}0 - 2{,}88 = 60{,}12 \text{ m.}$

Se puede apreciar que la eslora (E) del atunero «Aratz» es de 56,1 m. y el $\overline{GM}_L = 60{,}12$ m. es mayor que la eslora.

10.2. PAR DE ESTABILIDAD LONGITUDINAL

El buque rota sobre su eje transversal debido a que se forma un par de fuerzas, una del peso del buque (D) y el empuje (E) aplicadas en el centro de gravedad (G) y en el centro de carena (C) respectivamente.

En la Fig. X-2 se puede apreciar que la expresión trigonométrica del triángulo rectángulo GZM_L nos da el brazo del par $\overline{GZ} = \overline{GM}_L \operatorname{sen} \theta_L$

El momento del par de estabilidad longitudinal será:

$D \times \overline{GZ} = D \times \overline{GM}_L \operatorname{sen} \theta_L$

El valor del par de estabilidad viene expresado en tonelámetros cuando el desplazamiento (D) sea en toneladas métricas y el brazo ($\overline{GZ}$) en metros; si el desplazamiento estuviera dado en toneladas largas (L/T) y el brazo de adrizamiento longitudinal ($\overline{GZ}$) en pies se expresaría en tonelapies.

Este par de estabilidad influirá en el movimiento de cabeceo del buque para poder emerger entre las olas.

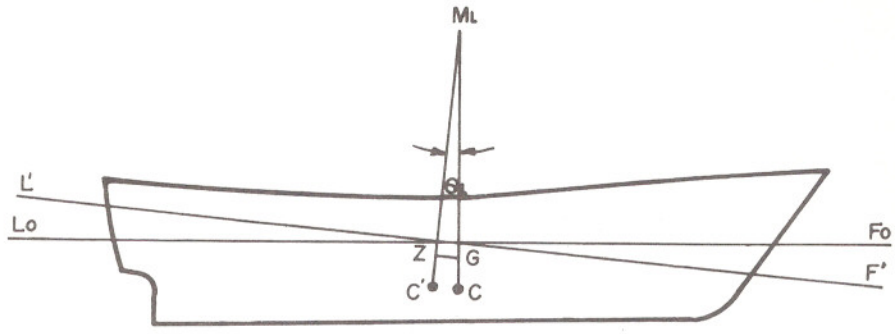


Fig. X-2 PAR DE ESTABILIDAD LONGITUDINAL.

El ángulo θ_L es muy pequeño generalmente en el movimiento de cabeceo no son mayores de 5 a 6 grados, en cambio los movimientos de balance andan entre 15 y 20 grados.

El asiento normal de los buques no sobrepasa el ángulo θ_L mayores de 1 a 4 grados, por ello se puede sustituir en la expresión anterior el sen θ_L por la tg. θ_L o el valor de θ_L en radianes, quedando:

$D \times GZ = D \times GM \operatorname{sen} \theta_L = D \times GM \operatorname{tg} \theta_L = D \times GM \times \theta_L$ rad.

EJERCICIOS

1. Un buque tiene un desplazamiento de 5000 Tm. y un $\overline{GM}_L$ = 100 m. Hallar el momento del par de estabilidad cuando el buque cabecea 5 grados.

R.: Momento del par de estabilidad = 43.577,871 Tm.m.

2. Hallar la altura metacéntrica longitudinal del buque atunero «Aratz» siendo su desplazamiento de 2350 Tm. y su $\overline{KG}$ = 4,95.

R.: $\overline{GM}_L$ = 56,05 m.

3. Hallar la altura metacéntrica longitudinal aproximada del buque atunero «Aratz» del ejercicio anterior y expresar la diferencia entre el $\overline{GM}_L$ y el $\overline{GM}_L$ aproximado en metros y en el error porcentual que se comete al adoptar el $\overline{GM}_L$ aproximado.

R.: $\overline{GM}_L$ aprox. = 57,88 m.
Diferencia $\overline{GM}_L$ = 1,83 m.
El error que se comete es de 3,16% al adoptar el $\overline{GM}_L$ aproximado = $\overline{CM}_L$ en vez del $\overline{GM}_L$ verdadero.

CAPITULO XI

TRASLACION DE PESOS CONTENIDOS EN EL BUQUE

11.1. GENERALIDADES

La traslación o corrimiento de pesos en los buques se puede agrupar en tres direcciones; de babor a estribor o viceversa que se llama traslación transversal, de proa a popa o viceversa que se llama traslación longitudinal y de abajo hacia arriba o viceversa llamada traslación vertical de pesos.

Todas estas traslaciones de pesos en el interior del buque van a modificar la estabilidad debido a que va a trasladarse el centro de gravedad del buque (G).

11.2. TEOREMA DEL TRASLADO DE PESOS DENTRO DE UN SISTEMA DE PESOS

Sea un sistema de pesos N y M aplicados en los puntos A y B respectivamente, cuyo centro de gravedad G, se encuentra en la dirección AB; la resultante del sistema es R = N + M. Fig. XI-1.

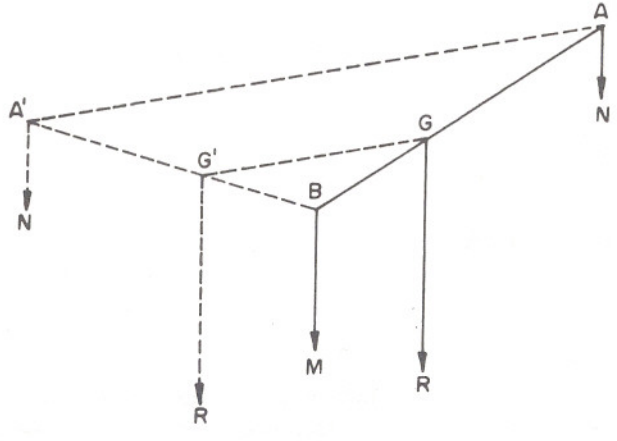


Fig. XI-1 TRASLACION DE PESO.

Si trasladamos el peso N hasta A' una distancia $\overline{AA'}$, el nuevo centro de gravedad del sistema G' se va a encontrar en la dirección $\overline{A'B}$.

Podemos establecer la siguiente igualdad:

$$N.\overline{AG} = M.\overline{GB} \qquad \text{de donde} \qquad \frac{N}{M} = \frac{\overline{GB}}{\overline{AG}}$$

$$N.\overline{A'G'} = M.\overline{G'B} \qquad \text{de donde} \qquad \frac{N}{M} = \frac{\overline{G'B}}{\overline{A'G'}}$$

Por una propiedad de las proporciones las fórmulas anteriores quedarían transformadas en las siguientes igualdades:

$$\frac{N}{M+N} = \frac{\overline{GB}}{\overline{AG}+\overline{GB}} = \frac{\overline{GB}}{\overline{AB}} = \frac{N}{R}$$

$$\frac{N}{M+N} = \frac{\overline{G'B}}{\overline{A'G'}+\overline{G'B}} = \frac{\overline{G'B}}{\overline{A'B}} = \frac{N}{R}$$

Como podemos apreciar los últimos miembros de estas igualdades son iguales por lo tanto el otro miembro de ambas igualdades será también igual:

$$\frac{N}{R} = \frac{\overline{GB}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{G'B}}{\overline{A'B}}$$

Esta última igualdad nos dice que el triángulo ABA' es semejante al triángulo GBG' y si son semejantes tienen sus lados paralelos y establecemos la proporcionalidad con sus lados, entonces nos queda finalmente:

$$\frac{\overline{GB}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{G'B}}{\overline{A'B}} = \frac{\overline{GG'}}{\overline{AA'}}$$

También podemos establecer la igualdad siguiente:

$$\frac{\overline{GG'}}{\overline{AA'}} = \frac{N}{R}$$

de donde: $\overline{GG'} = \dfrac{N \times \overline{AA'}}{R}$

Conclusión:

1a.) La dirección en que se traslada el centro de gravedad en un sistema de pesos es paralela a la traslación del peso trasladado y en el mismo sentido.

2da.) La distancia en que se traslada el centro de gravedad de un sistema de

pesos es igual al producto del peso trasladado por la distancia de traslación dividido el peso total del sistema.

11.3. TRASLACION TRANSVERSAL DE PESOS

Supongamos que trasladamos un peso p en la dirección transversal del punto A al B (Fig. XI-2), la distancia de A a B la llamaremos d_t

El peso total del sistema es igual al desplazamiento D y el centro de gravedad del buque es G.

Al trasladar el peso p, el nuevo centro de gravedad del buque será G_t.

Aplicando el teorema de traslado de un peso en un sistema, que en este caso sería el buque, tenemos la siguiente igualdad:

$$\overline{GG_t} = \frac{p \times d_t}{D}$$

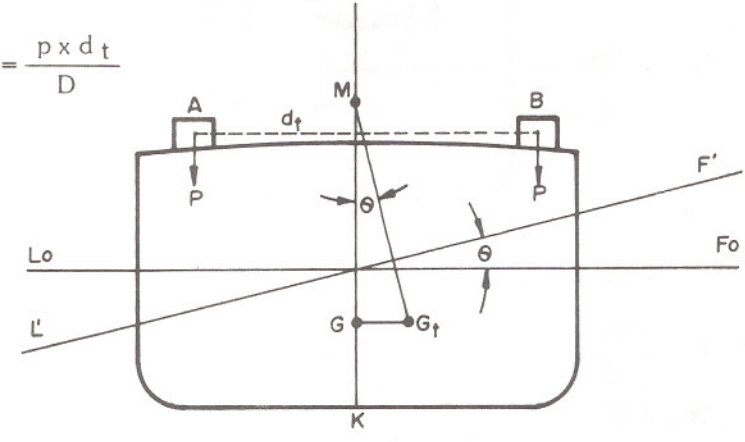


Fig. XI - 2 TRASLACION TRANSVERSAL DE PESO.

En la Fig. XI-2 vemos que el triángulo MGG t es rectángulo, por lo tanto podemos establecer la siguiente igualdad: $\overline{GG_t} = \overline{GM}\ \text{tg}\,\theta$

Igualando estas dos últimas expresiones, nos queda:

$$\frac{p \times d_t}{D} = \overline{GM}.\ \text{tg}.\,\theta \text{ ; despejando} \qquad \text{tg}.\,\theta = \frac{p \times d_t}{D \times \overline{GM}}$$

Mediante esta fórmula podemos hallar la escora del buque, hasta el límite de su estabilidad inicial (de 8 a 10 grados de escora).

Siempre que la escora sea mayor que la estabilidad inicial se debe recurrir a las curvas de estabilidad para hallarla gráficamente.

EJEMPLO N° 36. El buque atunero «Aratz» cuyo $\overline{KG}$ = 5,06 m. y su calado medio Cm. = 5,30 m.

Hallar:

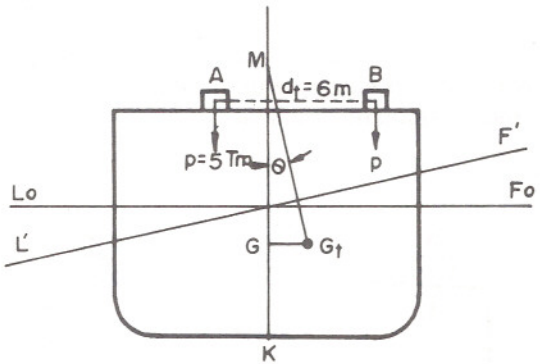
a) Distancia que se traslada el centro de gravedad del buque G, después de haber corrido un peso de 5 Tm. una distancia de 6 m. transversalmente a Er.

b) El ángulo de escora del buque después del traslado, sabiendo que el buque se encontraba adrizado.

Respuesta:

a) Entrando en las curvas hidrostáticas con el Cm = 5.30 m. se obtiene, D = 2.250 Tm.

$$\overline{GG}_t = \frac{p \times d_t}{D} = \frac{5 \times 6}{2.250} = 0.0133 \text{ m. a Estribor.}$$



El $\overline{GG}_t$ se trasladó 0.0133 m. hacia Er.

$$\text{b) } Tg\ \theta = \frac{\overline{GG}_t}{\overline{GM}}$$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$$

El $\overline{KM}$ se obtiene de las curvas hidrostáticas entrando con el Cm. 5.30 m., de donde 55.1 cm. x 0.10 m. = 5.51 m. = $\overline{KM}$

$$\overline{GM} = 5.51 - 5.06 = 0.45 \text{ m.}$$

$$Tg.\ \theta = \frac{0.0133}{0.45} = 0.029556 : \theta = 1°41'34'' \text{ a Er.}$$

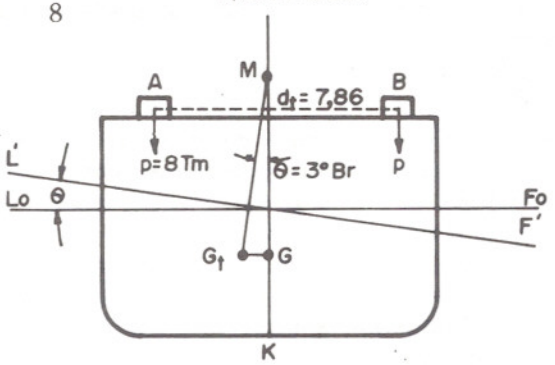
EJEMPLO Nº 37. El atunero «Aratz» tiene una escora de 3° a babor y un D = 2000 Tm. Hallar:

a) Qué distancia se debe trasladar un peso de 8 Tm. para que el buque quede adrizado, siendo su $\overline{GM}$ = 0.60 m.

$$Tg.\ \theta = \frac{p \times d_t}{D \times \overline{GM}}$$

$$d_t = \frac{tg.\ \theta \times D \times \overline{GM}}{p}$$

$$d_t = \frac{tg.3^o \times 2.000 \times 0,60}{8} = 7,86 \text{ m. a Er.}$$



El peso se debe trasladar 7,86 m. hacia Er.

11.3.1. Representación gráfica de la curva de estabilidad estática después del traslado de un peso transversalmente. Cálculo de la escora.

Cuando se traslada un peso transversalmente en un buque, éste va a sufrir una escora hacia el costado que fue trasladado el peso.

El centro de gravedad G del buque también se trasladará en la misma dirección y sentido, si observamos en la Fig. XI-3, el brazo de adrizamiento $\overline{GZ}$ para el ángulo de escora θ disminuirá una distancia $\overline{GA} = \overline{GG_t} \cos \theta$. Esta disminución en los brazos de adrizamiento va a hacer que disminuya la curva de estabilidad estática de brazos, porque hay un ascenso virtual del G del buque al G_v y por lo tanto la estabilidad del buque disminuirá.

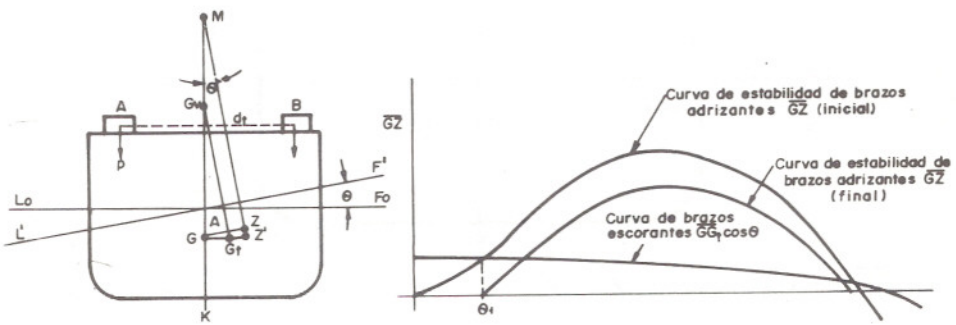


Fig. XI - 3 REPRESENTACION GRAFICA DE LA CURVA DE BRAZOS GZ AL TRASLADAR UN PESO TRANSVERSALMENTE.

Inicialmente, al efectuar el buque un balance de un ángulo θ, el brazo de adrizamiento era de $\overline{GZ}$. Luego de trasladar un peso p transversalmente y efectuar un balance de igual ángulo, el brazo $\overline{GZ}$ de la curva, quedará reducido a $\overline{G_t Z'}$.

Entonces podemos establecer:

$\overline{G_t Z'} = \overline{GZ} - \overline{GA} = \overline{AZ}$

$\overline{G_t Z'} = \overline{GZ} - \overline{GG_t} \cos \theta$

La representación gráfica de la curva de brazos de adrizamiento, nos queda como muestra la figura: la curva de brazos de adrizamiento final estará dada por la resultante de la diferencia de la curva de brazos de adrizamiento inicial y la cosinusoide que representa los brazos escorantes.

El ángulo θ_1 representará la escora en que quedará el buque después del traslado del peso, en la figura se obtiene bajando la ordenada que pasa por la intersección entre la curva de brazos adrizantes con el buque adrizado y la cosinusoide.

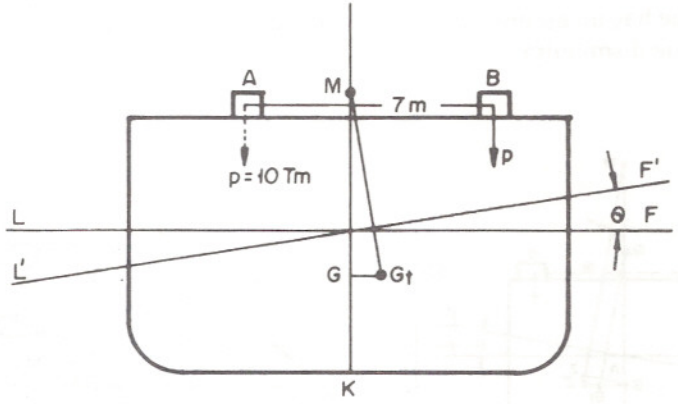
Este mismo procedimiento que se siguió para hallar la curva de brazos adrizantes después del traslado de un peso se puede hacer para la curva de momentos adrizantes.

EJEMPLO N° 38. Un buque se encuentra en la siguiente condición: D = 1.800 Tm. $\overline{KG}$ = 4,50 m., $\overline{KM}$ = 5,00 m., se obtiene la curva de brazos de adrizamiento del gráfico, se efectúa un corrimiento de un peso de 10 Tm. una distancia de 7 metros transversalmente de babor a estribor.

Se pide:

a) Curva de brazos de adrizamientos después de haber corrido el peso.

b) Escora después de haber corrido el peso, analítica y gráficamente.

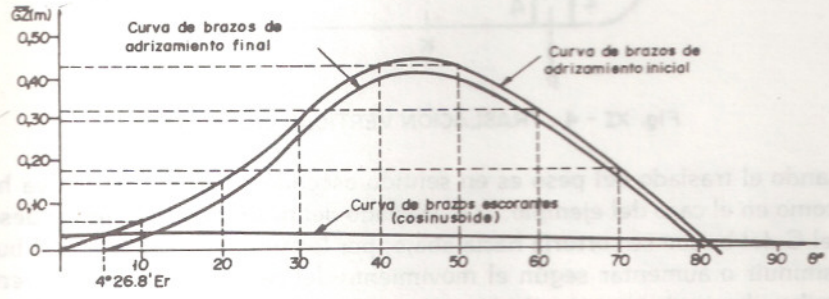


$\overline{G_t Z'} = \overline{GZ} - \overline{GA} = \overline{GZ} - \overline{GG_t} \cdot \cos \theta$

$$\overline{GG_t} = \frac{p \times d_t}{D} = \frac{10 \times 7}{1.800} = 0{,}0389 \text{ m. a Er.}$$

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	grados
$\overline{GZ}$	0,06	0,13	0,29	0,42	0,41	0,31	0,16	0,02	—	metros
$GG_t \cos\theta$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	—	metros
G_tZ'	0,02	0,09	0,26	0,39	0,39	0,29	0,15	0,01	—	metros

Luego tomando estos valores de los brazos de adrizamiento inicial, se traza la curva de estabilidad estática inicial (de brazos); con los valores de los brazos escorantes $\overline{GG}_t \cos\theta$ se traza la cosinusoide y finalmente con los valores de los brazos $\overline{G_tZ'}$ se traza la curva de brazos adrizantes final.



La escora se obtiene analíticamente mediante la fórmula: $tg\ \theta = \frac{p \times d_t}{D \times \overline{GMo}}$

$\overline{GMo} = \overline{KMo} - \overline{KG} = 5{,}00 - 4{,}50 = 0{,}50$ m.

Entonces: $tg\ \theta = \frac{10 \times 7}{1800 \times 0{,}50} = 0{,}07778$

la escora será: $\theta = 4°\ 26.8'$ a estribor

Gráficamente se obtiene la escora en la intersección de la ordenada que pasa por donde se cortan las curvas $\overline{GZ}$ (inicial) y la $\overline{GG}_t \cos\theta$ con el eje de las abscisas.

11.4. TRASLACION VERTICAL DE PESOS

Si se traslada un peso en dirección vertical, que puede ser desde una bodega a cubierta o viceversa, el buque se va a ver afectado en su estabilidad porque el centro de gravedad G del buque se trasladará en la dirección y sentido que se corrió el peso.

Veamos en la Fig. XI-4 un peso p, que se encuentra en la posición A, se traslada en dirección vertical a la posición B, una distancia dv, el centro de gravedad que se encontraba en G se trasladará a Gv, una distancia $\overline{GG}v$, que se calcula mediante la fórmula del traslado de pesos en un sistema, la cual ya habíamos visto:

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D}$$

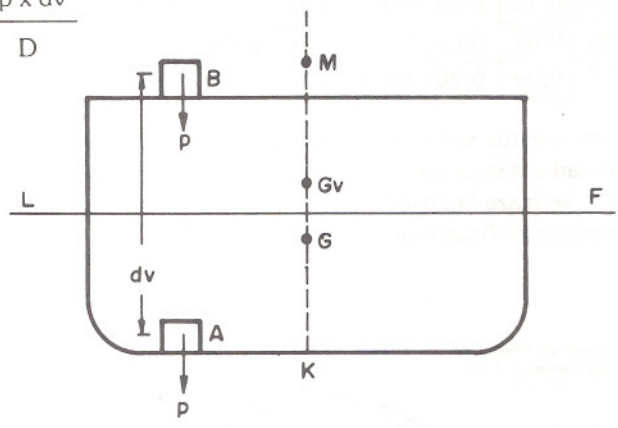


Fig. XI - 4 TRASLACION VERTICAL DE PESO

Cuando el traslado del peso es en sentido ascendente, el G también va hacia arriba como en el caso del ejemplo; si el traslado del peso fuera en cambio descendente, el G del buque se correría hacia abajo; por lo tanto la estabilidad del buque va a disminuir o aumentar según el movimiento del peso sea en sentido vertical hacia arriba o hacia abajo respectivamente.

EJEMPLO N° 39. Un buque tiene un desplazamiento de 8.000 Tm., su $\overline{KG}$ = 6 m., se traslada un peso de 100 Tm. una distancia vertical de 12 m. hacia arriba. Se quiere saber cuál va a ser su nuevo $\overline{KG}$

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D} = \frac{100 \times 12}{8000} = \frac{1200}{8000} = 0{,}15 \text{ m.}$$

$$\overline{KGv} = \overline{KG} + \overline{GGv} = 6 + 0{,}15 = 6{,}15 \text{ m.}$$

EJEMPLO N° 40. En un buque de un desplazamiento de 5.000 Tm. se traslada un peso de 150 Tm., una distancia de 8 m. en dirección vertical hacia abajo. Su $\overline{GM}$ inicial era de 0,90 m. Cuál será la altura metacéntrica después del traslado del peso?

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D} = \frac{150 \times 8}{5000} = \frac{1200}{5000} = 0{,}24 \text{ m.}$$

$$\overline{GvM} = \overline{GM} + \overline{GGv} = 0{,}90 + 0{,}24 = 1{,}14 \text{ m.}$$

La altura metacéntrica final es 1.14 m.

11.4.1. Representación gráfica de la curva de estabilidad estática después del traslado de un peso verticalmente

Si se traslada un peso en dirección vertical, la curva de brazos de estabilidad estática transversal cambiará debido a ese traslado, porque los brazos de adrizamiento $\overline{GZ}$ van a aumentar o disminuir cuando el peso se traslada hacia abajo o arriba respectivamente.

Veamos en la Fig. XI-5 si trasladamos el peso p de A a B una distancia dv verticalmente, el centro de gravedad del buque se trasladará de G a Gv; luego si se escora el buque un ángulo θ por acción del viento o mar, el brazo $\overline{GZ}$ que tendría el buque inicialmente quedará reducido al $\overline{GvZ'}$ después del traslado del peso. El brazo de adrizamiento final va a estar dado por la fórmula siguiente:

$\overline{GvZ'} = \overline{GZ} - \overline{GG}v \text{ sen } \theta$

La curva de brazos de adrizamiento para este ejemplo queda de la siguiente manera mostrada en este gráfico de la figura:

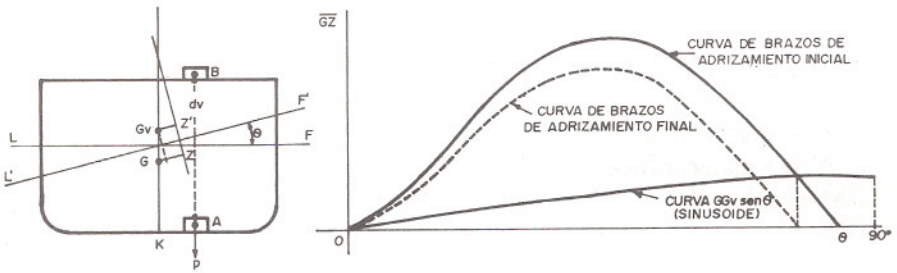


Fig. XI – 5 REPRESENTACION GRAFICA DE LA CURVA DE BRAZOS $\overline{GZ}$ AL TRASLADAR UN PESO VERTICALMENTE.

Se ha trazado la curva de brazos de adrizamiento inicial y luego la curva sinusoide que corresponde a $\overline{GG}v\text{sen } \theta$; restando de la curva primera la segunda se obtiene la curva de estabilidad estática final de brazos de adrizamiento.

De la misma manera que se ha trazado la curva de estabilidad estática transversal de brazos se puede construir la curva de momentos como se ha explicado en el Capítulo VIII.

NOTA: Si se traslada el peso en dirección vertical de arriba hacia abajo, la fórmula de brazos de adrizamiento queda expresada como sigue: $GvZ' = GZ + GGv \text{ sen } \theta$

EJEMPLO N° 41. Un buque que tiene un desplazamiento de 1.300 Tm., su $\overline{KG}$ = 3,45 m., $\overline{KM}$ = 4,00 m., se encuentra adrizado; los valores de los brazos de la curva de estabilidad estática transversal son los siguientes:

θ en grados	$\overline{GZ}$ en metros	θ en grados	$\overline{GZ}$ en metros
10	0.06	50	0,33
20	0.17	60	0,35
30	0.26	70	0,24
40	0.32	80	0,13

Luego se traslada un peso verticalmente de una altura sobre la quilla de 3,30 a una altura también sobre la quilla de 1,10 m.; el peso p = 75 Tm.

Se pide:

a) Altura del centro de gravedad del buque después del traslado

b) Altura metacéntrica del buque después del traslado

c) Trazar la curva de estabilidad transversal de brazos adrizantes

d) A cuántos grados de escora tiene el mayor momento adrizante?

Respuesta:

a) Altura del centro de gravedad

$\overline{KG}vfinal = \overline{KG}i - \overline{GG}v$ (el signo menos debido a que el G baja)

$$\overline{GG}v = \frac{p \times dv}{D}; \quad dv = 3,30 - 1,10 = 2,20 \text{ m.}$$

$$\overline{GG}v = \frac{p \times dv}{D} = \frac{75 \times 2,20}{1300} = 0,127 \text{ m.}$$

$KGv = 3,45 - 0,13 = 3,32$ m.

b) Altura metacéntrica

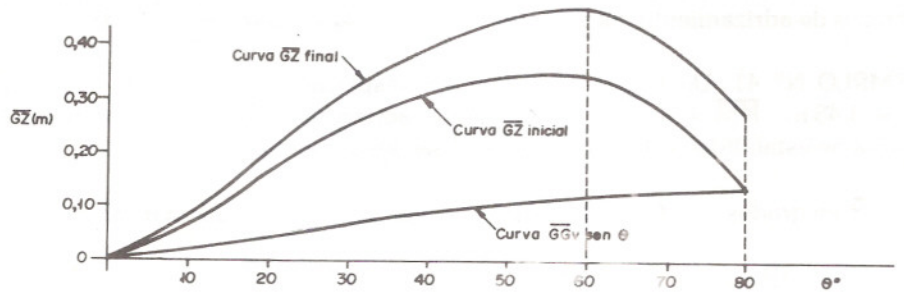
$\overline{GM}$ inicial $= \overline{KM} - \overline{KG} = 4,00 - 3,45 = 0,55$ m.

$\overline{GM}$ final $= \overline{GvM} = \overline{GM}i + \overline{GG}v = 0,55 + 0,13 = 0,68$ m.

c) Curva de estabilidad transversal de brazos adrizantes

θ°	10	20	30	40	50	60	70	80
$\overline{GZ}$ (m)	0.06	0.17	0,26	0,32	0,33	0,35	0,24	0,13
$\overline{GG}v$sen θ	0.02	0.04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13
$\overline{GZ}f$	0.08	0.21	0,32	0,40	0,43	0,46	0,36	0,26

$\overline{GZ}f$ = brazo final, como se puede apreciar aumenta porque el buque tiene mayor estabilidad, al aumentar el $\overline{GM}$ (altura metacéntrica).



d) La escora es de 60 grados cuando el buque tiene su mayor brazo adrizante.
Momento adrizante = Desplazamiento x $\overline{GZ}$

11.5. TRASLACION LONGITUDINAL DE PESOS

Si trasladamos un peso p, Fig. XI-6, de la posición A a la B, una distancia longitudinal d_L, el buque va a sufrir una variación en sus calados haciéndolo rotar sobre un eje transversal que pasa por la línea de flotación que está aproximadamente en el centro de la eslora, llamado centro de flotación F. El centro de gravedad G se trasladará a la posición G_L en una dirección paralela y en el mismo sentido en que fue trasladado el peso p.

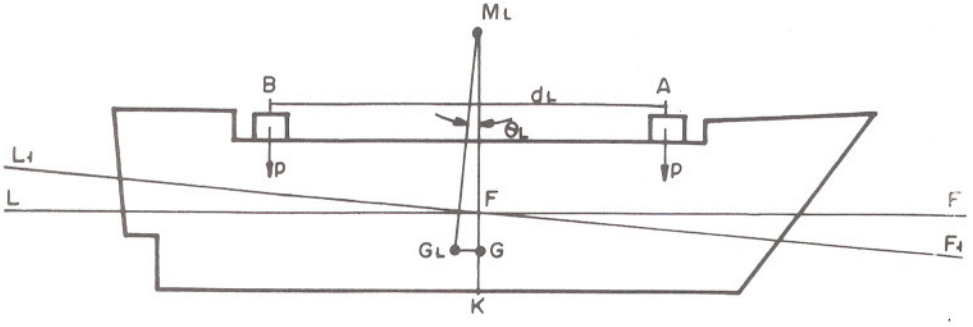


Fig. XI-6 TRASLACION LONGITUDINAL DE PESO.

Podemos establecer las siguientes igualdades:

$$\overline{GG}_L = \frac{p \times d_L}{D} \qquad y \qquad \overline{GG}_L = \overline{GM}_L \cdot tg.\theta_L$$

igualando miembro a miembro estas igualdades nos queda:

$$\frac{p \times d_L}{D} = \overline{GM}_L \, tg.\theta_L \quad ; \quad tg.\theta_L = \frac{p \times d_L}{D \times \overline{GM}_L}$$

$$tg.\theta_L = \frac{A}{E} = \frac{\text{Asiento}}{\text{Eslora}}$$, como se puede apreciar en el gráfico de la Fig. XI-7, en donde LoFo es la línea de flotación en calados parejos, las líneas

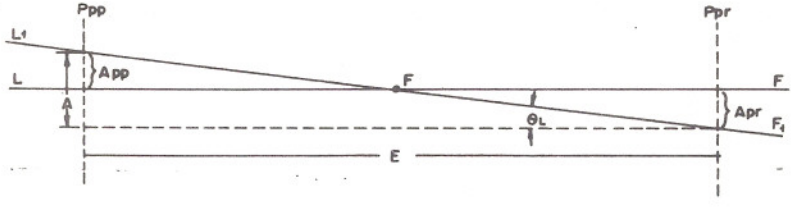


Fig. XI-7

verticales Ppr. y Ppp. representan las perpendiculares de proa y popa respectivamente: A = asiento; Apr. = asiento a proa; App. = asiento a popa; $L_1 F_1$ = la línea de flotación que tiene el buque; E = eslora entre perpendiculares y θ_L = el ángulo que forma las líneas o planos de flotación de calados iguales y el que tiene el buque.

A = asiento = Cpp. — Cpr.;
A es + cuando Cpp > Cpr (buque apopado)
A es — cuando Cpp < Cpr (buque aproado)

EJEMPLO Nº 42. Un buque tiene un calado de proa de 21' 05'' y el calado de popa es de 25' 09''. Hallar el asiento.

A = Cpp. — Cpr. = 25' 09'' — 21' 05'' = 4' 04'' (+) positivo, entonces el buque está apopado 4 pies y 4 pulgadas.

Sustituyendo en la fórmula anterior la tg. θ_L, nos queda:

$$\frac{A}{E} = \frac{p \times d_L}{D \times \overline{GM}_L}; \quad A = \frac{p \times d_L \times E}{D \times \overline{GM}_L} = \frac{p \times d_L}{\frac{D \times \overline{GM}_L}{E}}$$, esta fórmula

nos da el asiento porque al inicio, el buque tenía calados iguales, en la flotación LoFo y al correr el peso p quedó en la flotación $L_1 F_1$; generalizando para cualquier calado inicial tenemos la fórmula llamada de la alteración:

$$a = \frac{p \times d_L}{\frac{D \times \overline{GM}_L}{E}}$$

11.5.1. Momento unitario [Mu]

Se llama momento unitario (Mu) de un buque, aquel momento que produce una variación en el asiento de un centímetro o una pulgada, según estén expresadas en unidades métricas o inglesas los valores de la fórmula siguiente:

$$Mu = \frac{D \times \overline{GM}_L}{E}$$

En la fórmula de la alteración el momento unitario equivale al denominador del segundo miembro, entonces se puede escribir de la siguiente manera la fórmula de la alteración:

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu}$$

Si el momento unitario (Mu) está expresado en tonelámetros por centímetro, la eslora E que está en metros se multiplica por cien (100) y si está expresado en tone-

lapies por pulgada, la eslora que está en pies, se multiplica por doce (12)

$$Mu = \frac{D \times \overline{GM}_L}{E \times 100} = \text{Tm.m/cm. (Tonelámetros por centímetro)}$$

$$Mu = \frac{D \times \overline{GM}_L}{E \times 12} = \text{Tons.pies/pulg. (Tonelapies por pulgada)}$$

EJEMPLO N° 43. Hallar el momento unitario de un buque de un desplazamiento de 6000 Tm., $\overline{GM}_L$ = 120 m., y la eslora entre perpendiculares de 130 m.

$$Mu = \frac{D \times \overline{GM}_L}{E \times 100} = \frac{6000 \times 120}{130 \times 100} = \frac{720.000}{13.000} = 55{,}38 \text{ Tm.m./cm.}$$

Utilizando la curva hidrostática correspondiente al momento unitario Mu, se obtiene directamente sin necesidad de resolver la fórmula.

EJEMPLO N° 44. Hallar el momento unitario del atunero «Aratz» que tiene un D = 2.200 Tm.

Se entra en las curvas hidrostáticas en las abscisas con el D = 2.200 Tm. y se continúa por esta ordenada hasta la hidrostática del desplazamiento, luego horizontalmente hasta la curva del momento unitario y finalmente se baja para obtener 46,8 cm. que multiplicado por el coeficiente 0,5 de la hidrostática nos da

Mu = 46,8 x 0,5 = 23,4 Tm.m./cm.

En la escala de peso muerto Epígrafe 4-6, podemos obtener el momento unitario del buque «X». (En la última columna de dicha escala).

Conociendo el Mu para un determinado calado se puede determinar la alteración que sufrirá el buque en un traslado longitudinal de peso.

EJEMPLO N° 45. Un buque se encuentra en la siguiente condición: Cpr = 3,25 m., Cpp. = 4,50 m., D = 1650 Tm., Mu = 15 Tmm/cm. Hallar los calados finales después de trasladar longitudinalmente un peso de 10 Tm. una distancia de 15 m. hacia proa de su posición inicial.

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} = \frac{10 \times 15}{15} = 10 \text{ cm } (-) \text{ (la alteración es negativa porque el}$$

buque se aproa).

Suponiendo que el centro de flotación está en el centro de eslora, se tendrá que sumar a proa y restar a popa a/2 (la mitad de la alteración) a los calados de proa y popa respectivamente.

$$Cpr.f = Cpr.i + a/2 = 3{,}25 + 0{,}10/2 = 3{,}30 \text{ m.}$$

Cpp.f = Cpp.i − a/2 = 4,50 − 0,10/2 = 4,45 m.

NOTA: Estos calados son aproximados, debido a que se supone el centro de flotación F está en el centro de la eslora del buque. (Ver apéndice 4).

EJEMPLO N° 46. Un buque se encuentra en los siguientes calados: Cpr. = 16'06'', Cpp. = 18'09''; se traslada un peso de 200 Tons. hacia popa a una distancia de 35'04''; el momento unitario obtenido de las curvas hidrostáticas es de 450 Tonelapies por pulgada. Cuáles son los calados finales aproximados?

$$a = \frac{p \times d\,L}{Mu} = \frac{200 \times 35'04''}{450} = \frac{200 \times 35,33}{450} = \frac{7066}{450} = 15,70 \text{ pulgadas}$$

a/2 = 15,70/2 = 7,85 pulg.
Cpr.f = Cpr.i − a/2 = 16'06'' − 7,85'' = 15'10,15'' = 15'10'' (aprox.)
Cpp.f = Cpp.i + a/2 = 18'09'' + 7,85'' = 19'04,85'' = 19'05'' (aprox.)

NOTA: En este ejemplo se ha considerado también al centro de flotación en el centro de la eslora (ver apéndice 4); la aproximación de las pulgadas de los calados al medio de pulgada (0,5 de pulgada) es suficiente para los cálculos.

11.6. CALCULO DE LOS CALADOS DE UN BUQUE EN UNA CONDICION DE CARGA CUALQUIERA

Para calcular los calados finales de un buque en una condición de carga cualquiera, se obtiene el calado medio de las curvas hidrostáticas o de la escala de calados entrando con el desplazamiento D y luego se calcula el asiento A mediante la fórmula del asiento, la cual la deduciremos a continuación.

La alteración en proa y popa del calado se halla en forma aproximada; si el asiento es positivo restando al calado medio la mitad del asiento y sumando al calado medio la otra mitad del asiento; si el asiento fuera negativo se haría lo contrario; de lo dicho anteriormente se establece:

Asiento A + (positivo) ... Cpr. = Cm. − A/2
Cpp. = Cm. + A/2

Asiento A − (negativo) ... Cpr. = Cm. + A/2
Cpp. = Cm. − A/2

Se dice que estos calados así calculados son aproximados debido a que se supone el centro de flotación F coincidiendo con la cuaderna maestra ⊠. Ver apéndice 4.

En la Fig. XI-8, un buque se encuentra con los calados cuya línea de flotación es LoFo, su centro de gravedad G sobre la misma vertical del centro de carena C para que exista equilibrio y el asiento es nulo (A = 0) en esta condición de carga.

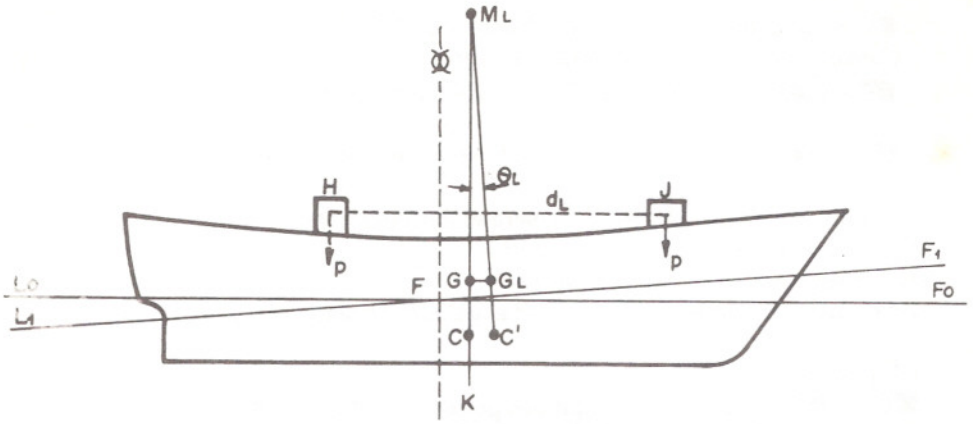


Fig. XI - 8

Si trasladamos un peso p, una distancia longitudinal d_L de H a J se produce un momento: $p \times d_L = a \times Mu$, quedando el buque con la línea de flotación L_1F_1, porque el centro de carena C se trasladó a C' y para que el buque se mantenga en equilibrio el centro de gravedad se ha trasladado a G_L.

Como la alteración a, en el caso del ejemplo es igual al asiento A porque el buque se encontraba inicialmente con asiento igual a cero, entonces:

$$p \times d_L = a \times Mu = A \times Mu$$

$$\overline{GG}_L = \frac{p \times d_L}{D} \quad ; \quad D \times \overline{GG}_L = p \times d_L$$

Como las direcciones $\overline{CM}_L$ y $\overline{C'M}_L$ se pueden considerar paralelas por ser el ángulo θ_L pequeño y los radios metacéntricos muy grandes, establecemos la siguiente igualdad de los brazos: $\overline{GG}_L = \overline{CC'} = \overline{CG}_L$: sustituyendo en las igualdades anteriores se obtiene la fórmula del asiento:

$$A = \frac{D \times \overline{CG}_L}{Mu}$$

Para resolver esta fórmula hallamos el desplazamiento D sumando todos los pesos contenidos en el buque; Mu se obtiene de las curvas hidrostáticas.

El valor del brazo longitudinal $\overline{CG}_L$ lo calculamos como sigue:

$$\overline{CG}_L = \overline{\text{[illegible]}G}_L - \overline{\text{[illegible]}C}$$

$$\overline{\text{[illegible]}G}_L = \frac{\Sigma \text{ Momentos longitudinales}}{\text{Desplazamiento}}$$

$\overline{\text{■C}}$ = se obtiene de la curva hidrostática $\overline{\text{■C}}$

Convencionalmente se adoptan los signos:

$\overline{\text{■G}_L}$ y $\overline{\text{■C}}$ + (positivo) si G_L y C se encuentran a popa de ■

$\overline{\text{■G}_L}$ y $\overline{\text{■C}}$ − (negativo) si G_L y C se encuentran a proa de ■

El signo que tenga el brazo $\overline{CG}_L$ será el del asiento A

A + (positivo) el buque está apopado

A − (negativo) el buque está aproado.

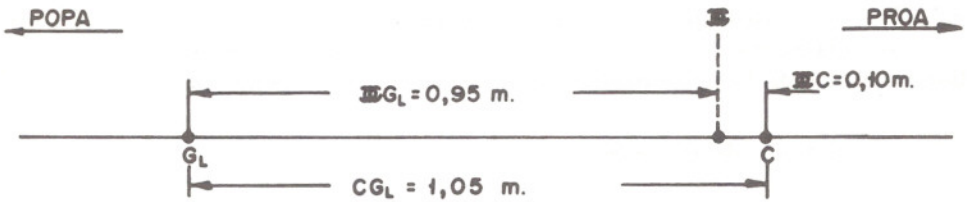
En el caso del buque de la Fig. XI-8 el valor del brazo CG_L es el siguiente:

$\overline{CG}_L = \overline{\text{■G}}_L - \overline{\text{■C}}$

$\overline{\text{■G}}_L$ y $\overline{\text{■C}}$ tienen signos negativos por estar a proa de ■ entonces,

$\overline{CG}_L = - \overline{\text{■G}}_L - (-\overline{\text{■C}}) = - \overline{\text{■G}}_L + \overline{\text{■C}}$; pero como la distancia $\overline{\text{■G}}_L > \overline{\text{■C}}$ el signo de $\overline{CG}_L$ es negativo y el asiento será negativo y por lo tanto el buque se encontrará aproado.

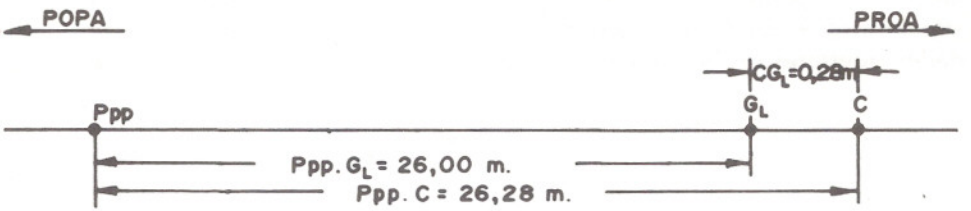
Veamos a modo de ejemplo: Hallar el brazo $\overline{CG}_L$ si se han calculado los valores de las coordenadas $\overline{\text{■G}}_L$ = + 0,95 m. y $\overline{\text{■C}}$ = − 0,10 m.



$\overline{CG}_L = \overline{\text{■G}}_L - \overline{\text{■C}}$

$\overline{CG}_L$ = + 0,95 − (− 0,10) = 1,05 + (positivo)

El buque estará apopado por ser $\overline{CG}_L$ positivo.



NOTA: En los buques que las coordenadas longitudinales se cuenten desde la perpendicular de popa $\overline{Ppp}$., el brazo $\overline{CG}_L$ se halla como sigue:

$\overline{CG}_L = \overline{Ppp.G}_L - \overline{Ppp.C}$

Las distancias $\overline{Ppp.G}_L$ y $\overline{Ppp.C}$ adoptan signos negativos.

Veamos a modo de ejemplo: Hallar el brazo $\overline{CG}_L$ del atunero «Aratz» si su D = 2.200 Tm. y $\overline{Ppp.G}_L$ = 26,00 m..

$\overline{CG} = \overline{Ppp.G}_L - \overline{Ppp.C}$

$\overline{CG}_L$ = −26,00 − (− 26,28) = 0,28 + (positivo)

Por ser el brazo $\overline{CG}_L$ positivo el asiento también será positivo.

Conclusión:

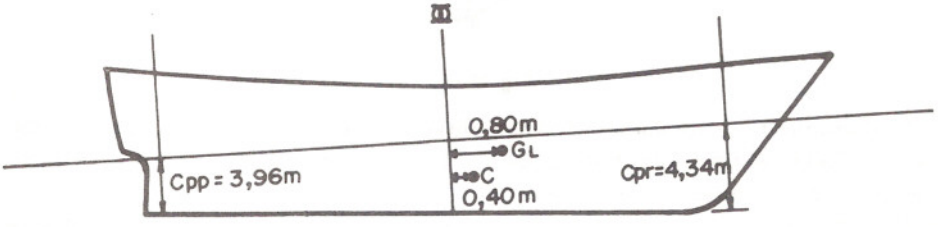
Siempre que el centro de gravedad G_L se encuentre a popa del centro de carena C el asiento será positivo y el buque estará apopado.

Siempre que el centro de gravedad G_L se encuentre a proa del centro de carena C el asiento será negativo y el buque estará aproado.

EJEMPLO Nº 47. Un buque tiene un desplazamiento de 1.300 Tm. y la distancia longitudinal del centro de gravedad a la cuaderna maestra es de 0,80 m. hacia proa. Hallar los calados finales aproximados.

Se obtienen de las curvas hidrostáticas los siguientes datos:

Cm. = 4,15 m.; Mu = 13,70 Tm.m./cm.; $\overline{\text{⊠C}} = -0{,}40$ m. (hacia proa)



$$\overline{CG}_L = \overline{⊠G}_L - \overline{⊠C} = -0{,}80 - (-0{,}40) = -0{,}40 \text{ m. (negativo)}$$

$$A = \frac{D \times \overline{CG}_L}{Mu} = \frac{1.300 \times (-0{,}40)}{13{,}70} = -37{,}96 \text{ cm.} = -38 \text{ cm. aprox.}$$

A/2 = 38/2 = 19 cm. = 0,19 m.
Cpr. = Cm. + A/2 = 4,15 + 0,19 = 4,34 m.
Cpp. = Cm. − A/2 = 4,15 − 0,19 = 3,96 m.

11.7. TRASLADO DE UN PESO EN UNA DIRECCION CUALQUIERA

Hasta el momento hemos visto el traslado de un peso en una dirección determinada ya sea transversal, vertical o longitudinal; pero generalmente en los buques cuando se traslada un peso no coincide exactamente con las direcciones anteriormente mencionadas, entonces para resolver este problema se debe descomponer la traslación del peso en tres direcciones que coincidan con los planos de referencia del buque.

Sea el caso del buque Fig. XI-9 que se quiere trasladar un peso desde el punto A al B una distancia AB = d de proa babor hacia popa estribor y a una altura más baja, que podría ser desde un punto en cubierta hacia el plan de una bodega.

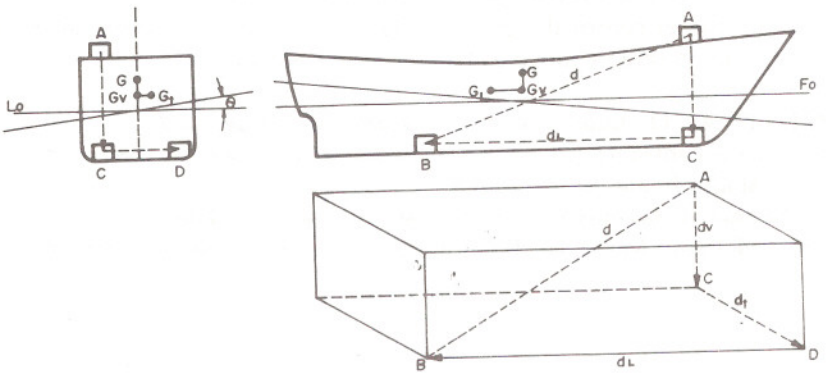


Fig. XI - 9

Primeramente se traslada el peso en dirección vertical de A a C, luego transversal de C a D y al final longitudinal de D a B, las distancias dv, d_t y d_L respectivamente, que es lo mismo que trasladar el peso de A a B.

En el primer movimiento de A a C del peso, el c. de g. G se trasladará a Gv y se calcula por la fórmula:

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D} \quad : \quad el\ \overline{GMf} = \overline{GMi} + \overline{GGv}$$

En el traslado de C a D del peso hace que el c. de g. G se traslade de Gv a G_t, que se halla como sigue:

$$\overline{GvG_t} = \frac{p \times d_t}{D}$$; de donde encontramos la escora mediante la fórmula:

$$Tg. \cdot\cdot = \frac{\overline{GvG_t}}{\overline{GM}}$$

El corrimiento longitudinal de D a B del peso hace que el c. de g. G se traslade de G_t a G_L y se halla mediante la fórmula:

$$\overline{G_t G_L} = \frac{p \times d_L}{D}$$, produce una variación del asiento o alteración que nos permite calcular los calados: $a = \frac{p \times d_L}{Mu}$; de donde apr. = app. (para cálculo aproximado).

EJEMPLO Nº 48. Un buque de un desplazamiento de 5000 Tm. se encuentra con unos calados: Cpr. 5,20 m.; Cpp. = 5,50 m.; $\overline{GM}$ = 0,50 m.; Mu = 60 Tm.m/cm.; se traslada un peso que se encuentra en cubierta de la posición A a la posición B en bodega, el peso es de 30 Tm. y su $\overline{KM}$ = 6,20 m.

Posición A	Posición B
$\overline{Kg}$ = 6 m.	$\overline{Kg}$ = 1,20 m.
$\overline{\text{Ⓜ}g}$ = 25 m. hacia proa	$\overline{\text{Ⓜ}g}$ = 15 m. hacia popa
$\overline{\text{Ⓒ}g}$ = 7 m. hacia babor	$\overline{\text{Ⓒ}g}$ = 4 m. hacia estribor

Se pide lo siguiente:
1o.) Calados después del traslado
2o.) Escora después del traslado
3o.) $\overline{GZ}$ de la curva de estabilidad final, si el $\overline{KN}$ a 30° de escora es de 3,05 m.
Respuesta: dv = 6 − 1,20 = 4,80 m. hacia abajo
d t = 7 + 4 = 11 m. hacia Er.
d_L = 25 + 15 = 40 m. hacia popa

1o.) Calados

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} = \frac{30 \times 40}{60} = \frac{1200}{60} = 20\,cm.$$

apr = app. = a/2 = 10 cm.

Cpr.f = Cpr.i − a/2 − 5,20 − 0,10 − 5,10 m.
Cpp.f = Cpp.i + a/2 = 5,50 + 0,10 = 5,60 m.

2o.) Escora

$$tg\ \theta = \frac{\overline{GG}_t}{\overline{GMc}}$$

$$\overline{GMc} = \overline{GM} + \overline{GGv} = \overline{GM} + \frac{p \times d\,v}{D} = 0,50 + \frac{30 \times 4,80}{5.000} = 0,53\,m.$$

$$\overline{GGt} = \frac{p \times d\,t}{D} = \frac{30 \times 11}{5.000} = 0,066\,m.\ \text{hacia Er.}$$

$$tg.\ \theta = \frac{0,066}{0,53} = 0,12453$$

θ = 7° 06' a Er.

3o.) $\overline{GZ}_{30^o}$ Curva de estabilidad estática transversal final

$$\overline{KG} = \overline{KM} - \overline{GM} = 6{,}20 - 0{,}50 = 5{,}70 \text{ m.}$$

$$\overline{KGv} = \overline{KG} - \overline{GGv} = 5{,}70 - \frac{p \times dv}{D} = 5{,}70 - \frac{30 \times 4{,}80}{5000} = 5{,}67 \text{ m.}$$

$$\text{Brazo } \overline{GZ}_{30^o} = \overline{KN}_{30^o} - \overline{KGv} \operatorname{sen} 30^o - \overline{GG}_L . \cos 30^o$$

$$\overline{GZ}_{30^o} = 3{,}05 - 5{,}70 . \operatorname{sen} 30^o - \frac{30 \times 11}{5000} . \cos 30^o =$$

$$= \overline{GZ}_{30^o} = 3{,}05 - 2{,}85 - 0{,}06 = 0{,}14 \text{ m.}$$

EJERCICIOS

1. Un buque se encuentra en las siguientes condiciones: D = 1.600 Tm.; $\overline{KM}$ = 5,60 m.; $\overline{KG}$ = 4,85 m.; se trasladan 8 pesos de 680 Kilos cada uno de babor a estribor una distancia de 7,20 m.

Hallar la escora en que quedará el buque después de trasladados los pesos.

R.: θ = 1°52.2' a Er.

2. Un buque se halla en las siguientes condiciones: D = 8.000 Tm.; Cpr. = 4,60 m.; Cpp. = = 5,45 m.; $\overline{KM}$ = 6,70 m.; $\overline{KG}$ = 5,90 m.; Mu = 40 Tm.m./cm.. Se trasvasan 70 m^3 de combustible cuya densidad es de 0,95, de un tanque situado en un $\overline{Kg}$ = 0,80 m. y $\overline{\mathbb{C}}$ g = = 2 m. a babor a otro situado a 60 m. a proa del anterior $\overline{Kg'}$ = 2,60 m. y $\overline{\mathbb{C}}$ g' = 4 m. a estribor.

Se pide:

1o.) Calados después del traslado

2o.) Altura metacéntrica final

3o.) Escora final, si inicialmente el buque estaba adrizado.

R.: 1o.) Cpr.f = 5,10 m.; Cpp.f = 4,95 m.; 2o.) $\overline{GMf}$ = 0,785 m.; 3o.) θ = 3° 38.1' a Er.

3. Hallar el momento unitario para cambiar una pulgada el asiento Mu, de un buque en el cual se conoce la siguiente información: E = 400 pies; D = 11.200 L/T; $\overline{KG}$ = 24 pies; $\overline{GM}_L$ = 650 pies; $\overline{KC}$ = 8,5 pies.

R.: Mu = 1.480,5 Tons. x pie/pulg.

CAPITULO XII

PESOS SUSPENDIDOS. SUPERFICIES LIBRES. EXPERIENCIA DE ESTABILIDAD O INCLINADO

12.1. PESOS SUSPENDIDOS

En los buques existen muchos ejemplos de este tipo de carga móvil que perjudica la estabilidad del buque. En los buques de carga frigorífica, cuando llevan colgadas en sus ganchos las reses; una grúa del buque al izar o arriar una carga, un bote suspendido por sus tiras al izarlo o arriarlo, son ejemplos de pesos suspendidos.

Si suponemos un peso suspendido, Fig. XII-1, desde el penol de una pluma, punto A y cuyo centro de gravedad se encuentra en g, si se escora el buque un ángulo θ, el peso libre oscila hasta la posición g' en la vertical del punto A, esto equivale a trasladar el peso de g a g', el cual crea un efecto escorante

$p.\overline{gB} = p.\overline{gA}.\text{sen } \theta$.

El nuevo momento de estabilidad Me' será el siguiente:

$Me' = Me - p.\overline{gB}$

$Me' = D.\overline{GM}.\text{ sen } \theta - p.\overline{gA}.\text{sen } \theta$

$D.\overline{G'M}.\text{sen } \theta = D.\overline{GM}.\text{ sen } \theta - p.\overline{gA}.\text{ sen } \theta$

Haciendo a $\overline{gA} = dv$ y dividiendo por D.sen θ a los dos miembros de la igualdad nos queda que:

$$\overline{G'M} = \overline{GM} - \frac{p \cdot dv}{D}$$

, lo cual nos dice que el $\overline{GM}$ inicial disminuyó una cantidad igual a $\frac{p.dv}{D}$; lo que es lo mismo, que si se elevara el peso p, una distancia $\overline{gA}$ verticalmente.

En la figura podemos ver que el peso p, que tiene su centro de gravedad en g al suspenderlo equivale a que se hubiere trasladado verticalmente al penol de la pluma A.

El estudio de la curva de estabilidad estática transversal, es igual al estudiado

para el traslado de pesos en dirección vertical. Epígrafe 11-4.

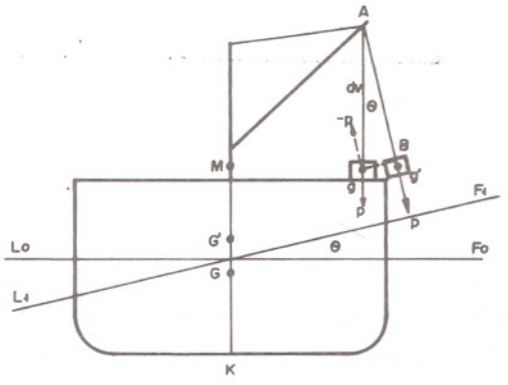


Fig. XII-4 PESOS SUSPENDIDOS.

EJEMPLO N° 49. Un buque que tiene un desplazamiento de 1000 Tm., un $\overline{GMi}$ = = 0,80 m. se suspende un peso p = 10 Tm. que se halla en cubierta, el largo de la guaya (cable) que lo sostiene es de 8 m. Hallar la altura metacéntrica cuando este peso esté suspendido.

$$\overline{G'M} = \overline{GM} - \frac{p \times dv}{D} = 0{,}80 - \frac{10 \times 8}{1000} = 0{,}80 - 0{,}08 = 0{,}72 \text{ m.}$$

EJEMPLO N° 50. Un buque se encuentra pescando en la siguiente condición: D = 1300 Tm., $\overline{KG}$ = 4,60 m., levanta el copo de la red con un peso de 4 Tm., la altura del penol de la pluma a la quilla es de 15 m. Hallar: a) La altura metacéntrica cuando el copo se encuentra suspendido.

b) La escora que produce al buque al levantarlo si la distancia del copo a crujía es de 5,5 m. a estribor.

Respuesta:

a) $\overline{KM}$ = 4,92 m. (obtenido de las curvas hidrostáticas)

$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 4{,}92 - 4{,}60 = 0{,}32$ m.

dv = $\overline{Kg}$ copo − $\overline{KG}$ buque = 15 − 4,60 = 10,40 m.

$$\overline{G'M} = \overline{GM} - \frac{p \times dv}{D} = 0{,}32 - \frac{4 \times 10{,}40}{1.300} = 0{,}32 - 0{,}03 = 0{,}29 \text{ m.}$$

(El peso del copo se considera incluido en el desplazamiento)

b) $\text{Tg. } \theta = \frac{p \times d_t}{D \cdot GM}$; d_t = ℄ g = 5,50 m.

$$\text{Tg. } \theta = \frac{4 \times 5{,}50}{1.300 \times 0{,}29} = \frac{22}{377} = 0{,}05836 \; ; \; \theta = 3°20°23'' \text{ a Er.}$$

12.2. SUPERFICIES LIBRES

Todos los buques en servicio tienen tanques y doble fondos que contienen líquidos, que pueden ser, combustible, agua dulce, agua de lastre, aceites, etc..

Estos líquidos, al encontrarse en los tanques se comportan como sólidos cuando los mismos se hallan llenos; pero, cuando los tanques tienen líquidos que no completan su capacidad, al moverse el buque en sus balances o cabeceos los líquidos contenidos en los tanques tratan de conservar la superficie horizontal. A los tanques que se encuentran a media capacidad o que no están llenos, se dice que tienen superficies libres. Estas superficies libres son enemigas de la estabilidad, porque siempre que ellas existan en los buques va a haber pérdida de la estabilidad.

Supongamos en la Fig. XII-2, el tanque que tiene un líquido de peso p, no se encuentra lleno, al escorarse el buque un ángulo θ, la superficie del tanque ab que tenía cuando el buque se hallaba adrizado va a cambiar a cd, manteniéndose paralela a la línea de flotación L'F'.

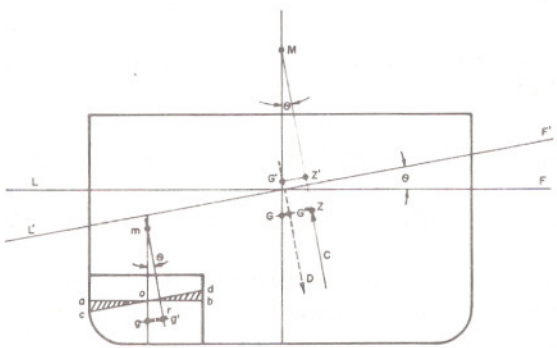


Fig. XII-2

El centro de gravedad del buque G se trasladará a G'', porque la cuña de agua que estaba en aoc se trasladó a bod y el centro de gravedad g del líquido del tanque con superficie libre, se corrió a g' creando el momento escorante

$p.\overline{gr} = p.\overline{gm}.\text{sen}\,\theta$

Al producirse este par escorante por haberse trasladado el centro de gravedad del líquido de g a g', debido al teorema de traslado de un peso dentro de un sistema de pesos, el G del buque se trasladará a G'' como se dijo anteriormente en una dirección paralela a los centros de gravedad de las cuñas de agua y en el mismo sentido y por la misma razón paralelo a $\overline{gg'}$.

El peso del buque D estará aplicado en G'' y el nuevo momento de estabilidad será: $Me' = D \times \overline{G''Z}$, la distancia $\overline{G''Z} = \overline{G'Z'}$ por ser paralelas entre paralelas, entonces $Me' = D \times \overline{G'Z'}$.

El momento de estabilidad del buque Me sin superficie libre es igual a:

$Me = D \times \overline{GZ}$

Estableciendo la igualdad de momentos, tenemos:

Me' = Me − momento escorante

$D \times \overline{G'Z'} = D \times \overline{GZ} - p.\overline{gr}$

$D \times \overline{G'M}.\text{sen}\ \theta = D \times \overline{GM}.\text{sen}\ \theta - p.\overline{gm}.\text{sen}\ \theta$

Dividiendo los dos miembros de esta igualdad por D.sen θ, nos queda:

$$\overline{G'M} = \overline{GM} - \frac{p.\overline{gm}}{D} = \overline{GM} - \overline{GG'}$$

Me' = Momento de estabilidad al escorarse un ángulo θ, con superficie libre

Me = Momento de estabilidad al escorarse un ángulo θ, sin superficie libre

θ = Angulo de escora pequeño que no sobrepase la estabilidad inicial

p = Peso del líquido del tanque

$\overline{gm}$ = Radio metacéntrico del volumen del líquido del tanque.

Como podemos apreciar, la altura metacéntrica inicial $\overline{GM}$ ha disminuido debido a un ascenso del centro de gravedad del buque de G a G', esta elevación se dice que es virtual, debido a que se considera como que si se elevara el centro de gravedad g del líquido del tanque hasta m, el cual representa el metacentro del volumen del líquido del tanque.

12.2.1. Cálculo de la subida virtual $\overline{GG'}$ por efecto de las superficies libres de los líquidos

Vimos anteriormente que la subida virtual de G era: $\overline{GG'} = \dfrac{p.\overline{gm}}{D}$

$\overline{gm} = \dfrac{i}{v}$, por ser el radio metacéntrico del volumen del líquido del tanque

i = momento de inercia de la superficie libre del líquido del tanque

v = volumen del líquido del tanque

δ = densidad del líquido del tanque

Sustituyendo el valor de $\overline{gm} = \dfrac{i}{v}$ y $p = v.\ \delta$, se tiene:

$$\overline{GG'} = \frac{p.\overline{gm}}{D} = \frac{v.\ \delta\ .\frac{i}{v}}{D} = \frac{\delta\ .i}{D}$$

La altura del centro de gravedad del buque $\overline{KG}c$ corregida por superficies libres se obtiene:

Para un tanque: $\overline{KG}c = \overline{KG} + \dfrac{\delta\ .i}{D}$; si fueran varios tanques:

$$\overline{KG}c = \overline{KG} + \frac{\Sigma \delta\ .i}{D}$$

La altura metacéntrica del buque $\overline{GMc}$ corregida por superficies libres se obtiene:

Para un tanque: $\overline{GMc} = \overline{GM} - \frac{\delta . i}{D}$; si fueran varios tanques:

$$\overline{GMc} = \overline{GM} - \frac{\Sigma\, \delta . i}{D}$$

Como podemos observar la pérdida de estabilidad de un buque ocasionada por superficies libres de los líquidos en los tanques $\overline{GG'} = \frac{\Sigma\, \delta . i}{D}$, es directamente proporcional a la densidad δ y al momento de inercia i, e inversamente proporcional al desplazamiento D, siendo independiente del volumen que posea el tanque.

12.2.2. Cálculo del momento de inercia de una superficie (i)

La definición de momento de inercia de una superficie con relación a un eje xx, es igual a la sumatoria de las infinitas superficies elementales $s_1, s_2, s_3, \ldots s_n$ multiplicado por el cuadrado de sus respectivas distancias al eje xx, $d_1, d_2, d_3, \ldots d_n$. Fig. XII-3.

Momento de inercia $i_{xx} = s_1 . d_1^2 + s_2 . d_2^2 + s_3 . d_3^2 \ldots s_n . d_n^2$

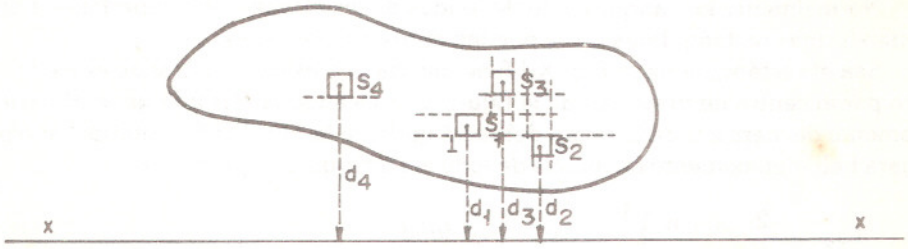


Fig. XII - 3

Si en la Fig. XII-4 tomamos un área elemental $s = \Delta x . \Delta y$ de la superficie bajo la curva NM y un par de ejes cartesianos, el momento de inercia elemental con respecto al eje ox será: $i_x = \Delta x . \Delta y . y^2$; el momento de inercia de un rectángulo elemental: $i_{rect.} = \int_0^y \Delta x . \Delta y . y^2 = \frac{y^3}{3} . \Delta x$

Si se halla la sumatoria de los infinitos momentos de inercia elementales de los

rectángulos elementales, que forman la superficie 0NMn, con respecto al eje 0x, tendremos:

$$I_x = \Sigma_0^n \frac{y^3}{3} \Delta x = 1/3 \Sigma_0^n y^3 . \Delta x$$

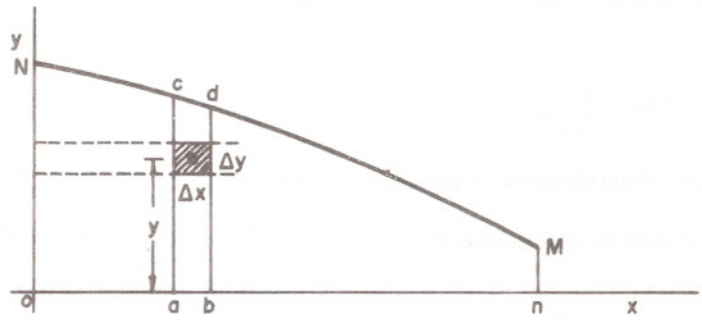


Fig. XII - 4

Si esta figura fuera simétrica respecto al eje xx para hallar el momento de inercia del doble de esta figura I_{xx} se multiplica por 2 y nos queda la fórmula general:

$$I_{xx} = \frac{2}{3} \Sigma_0^n y^3 . \Delta x$$

La unidad en que se mide el momento de inercia es en la unidad lineal en que se midió la superficie elevada a la cuarta potencia; ejemplos: m^4, cm^4, pies ^{4}, etc..

12.2.3. Cálculo del momento de inercia de un rectángulo

Normalmente los tanques y doble fondos de los buques, sus superficies libres tienen formas rectangulares o que pueden aproximarse a ellas.

Sea el rectángulo de la Fig. XII-5 de manga m y eslora e, pasando el eje xx de giro por el centro de gravedad de la figura g; aplicando la fórmula general para el momento de inercia para la mitad del rectángulo de la Fig. XII-5 y multiplicado por 2 para hallar el momento de inercia de todo el rectángulo I_{xx} tenemos:

$$I_{xx} = \frac{2}{3} \Sigma_0^e \left(\frac{m}{2}\right)^3 . \Delta e \quad ; \text{de donde}$$

$$I_{xx} = \frac{2}{3} \cdot \frac{m^3}{8} \cdot e$$

$$I_{xx} = \frac{m^3 . e}{12} \text{, esta fórmula es la que da el momento de inercia de una}$$

superficie rectangular y cuyo eje de referencia del cual se han tomado los momentos de inercias, pasa por el centro de gravedad g de la misma.

Como se puede apreciar, el factor que más influye en el momento de inercia es la manga del tanque por estar elevada al cubo.

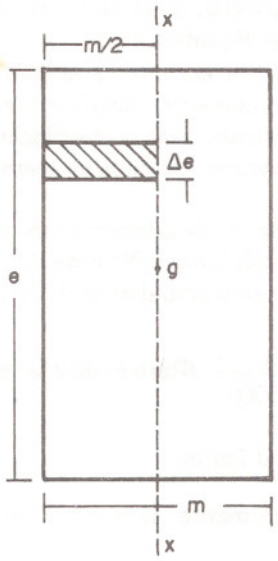


Fig. XII - 5

Entonces, la corrección por superficies libres de tanques rectangulares se puede realizar de la siguiente manera:

$$\overline{GG'} = \frac{\sum i \cdot \delta}{D} = \frac{\sum m^3 \cdot e \cdot \delta}{12.D}$$; de donde la altura metacéntrica queda

reducida en: $\overline{GMc} = \overline{GM} - \frac{\sum m^3 \cdot e \cdot \delta}{12.D}$

EJEMPLO N° 51. Un buque de desplazamiento igual a 1000 Tm.; $\overline{KG}$ = 3,60 m.; $\overline{KM}$ = 4.60; se encuentra con un tanque de combustible de δ = 0,9 con superficie libre cuyas dimensiones son de: e = 4 m., m = 2 m..

Calcular el $\overline{GM}$ del buque corregido por superficie libre.

$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 4,60 - 3,60 = 1,00$ m.

$$\overline{G'M} = \overline{GM} - \overline{GG'} = \overline{GM} - \frac{i \cdot \delta}{D} = \overline{GM} - \frac{m^3 \cdot e \cdot \delta}{12.D}$$

$$\overline{G'M} = \overline{GMc} = 1,00 - \frac{2^3 \cdot 4 \cdot 0,9}{12 \times 1000} = 1,00 - 0,0024 = 0,9976 \text{ m.}$$

12.2.4. Información de la corrección por superficies libres

En los cuadernillos de información de estabilidad se encuentran las correcciones por superficies libres de todos los tanques que pueden llevar líquidos, tales como doble fondos para combustible, agua de lastre, agua de calderas, tanques de agua potable, tanques de cargas líquidas, etc..

Algunos buques traen las correcciones a aplicar directamente o sea, la elevación virtual del G para ese tanque en el desplazamiento de verano (Dv), entonces se debe corregir al dato suministrado para el desplazamiento que tiene el buque, si difiere del desplazamiento de verano. Veamos un ejemplo:

EJEMPLO N° 52. Un buque de un desplazamiento de verano 5000 Tm. tiene una corrección por superficie libre del tanque N° 8 de 0,03 m.. Hallar la corrección por superficie libre si el desplazamiento actual es de 4000 Tm.

$$\overline{GG'} = 0{,}03 = \frac{i \cdot \delta}{Dv} = \frac{i \cdot \delta}{5000} \quad \text{(Para el desplazamiento de verano)}$$

$$i \cdot \delta = 0{,}03 \times 5000 = 150 \text{ Tm.m.}$$

Como el buque tiene actualmente D = 4000 Tm., la corrección será:

$$\overline{GG'} = \frac{i \cdot \delta}{D} = \frac{150}{4000} = 0{,}0375 \text{ m.} = \text{aprox. } 0{,}04 \text{ m.}$$

Otros buques pueden traer como dato el momento de inercia i, o el producto i δ (momento de inercia por la densidad del líquido a que esté destinado el tanque). El buque «Aratz» trae en su información Epígrafe 14-11-6 el momento de inercia i en m^4.

12.2.5. Corrección por superficies libres a varios tanques

Cuando existen en un buque varios tanques que tienen superficies libres, la corrección se efectúa mediante la suma de todas las correcciones.

Se pueden presentar los siguientes casos:

a) Los tanques no son iguales y tienen diferentes densidades los líquidos.

$$\overline{GG'} = \frac{i_1 \cdot \delta_1}{D} + \frac{i_2 \ \delta_2}{D} + \frac{i_3 \ \delta_3}{D} + \cdots \frac{i_n \cdot \delta_n}{D}$$

$$\overline{GG'} = \frac{i_1 \cdot \delta_1 + i_2 \cdot \delta_2 + i_3 \cdot \delta_3 + \ldots i_n \cdot \delta_n}{D} = \frac{\Sigma i \cdot \delta}{D}$$

b) Los tanques son diferentes e iguales las densidades de los líquidos.

$$\overline{GG'} = \frac{\delta}{D}(i_1 + i_2 + i_3 + \ldots i_n) = \frac{\delta}{D} \cdot \Sigma i$$

c) Los tanques son iguales y diferentes las densidades de los líquidos.

$$\overrightarrow{GG'} = \frac{i}{D}(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \ldots \delta_n) = \frac{i}{D} \cdot \Sigma\, \delta$$

d) Los tanques y las densidades de los líquidos son iguales.

$$\overline{GG'} = \frac{n \cdot i \cdot \delta}{D}$$

n = número de tanques

EJEMPLO Nº 53. Un buque se encuentra en las siguientes condiciones: $\overline{GM}$ = 0,70 m., D = 4500 Tm.. Tiene 4 tanques iguales en sus dimensiones: e = 6 m., m = 3 m. cada uno; 2 de ellos se encuentran con agua salada (δ = = 1,025), uno con gas oil de δ = 0,85 y el otro con fuel oil de δ = 0,96. Hallar la altura metacéntrica corregida.

Solución: Aplicamos la fórmula del caso c.

$$\overline{GG'} = \frac{i}{D}\ (\delta \text{ agua sal.} + \delta \text{ agua sal.} + \delta \text{ gas o.} + \delta \text{ fuel o.})$$

$$\overline{GG'} = \frac{6 \times 3^3}{12 \times 4.500}(1{,}025 + 1{,}025 + 0{,}85 + 0{,}96) = \frac{6 \times 27\ (3{,}86)}{54.000} =$$

$$= \frac{625{,}32}{54.000} = 0{,}01158 \text{ m.}$$

$\overline{G'M} = \overline{GM} - \overline{GG'}$ = 0,70 − 0,01158 = 0,68842 m. es la altura metacéntrica corregida de líquidos.

12.2.6. Disminución de la pérdida de estabilidad al subdividir los doble fondos de los buques en tanques por efecto de superficies libres

Para que la pérdida de estabilidad causada por las superficies libres de los tanques que contienen líquidos sea reducida, los doble fondos de los buques se subdividen por medios de mamparos longitudinales y transversales, para que las dimensiones de los tanques disminuyan, principalmente la manga de los tanques, que es el factor que más influye en la estabilidad transversal.

Veamos mediante un ejemplo; sea en la Fig. XII-6 un tanque o doble fondo rectangular sin división longitudinal, entonces el momento de inercia $i = \frac{e \times m^3}{12}$; luego si se divide este tanque con dos mamparos longitudinales, queda dividido en

tres tanques iguales de dimensiones: e = eslora y m' = m/3 = manga de cada tanque.

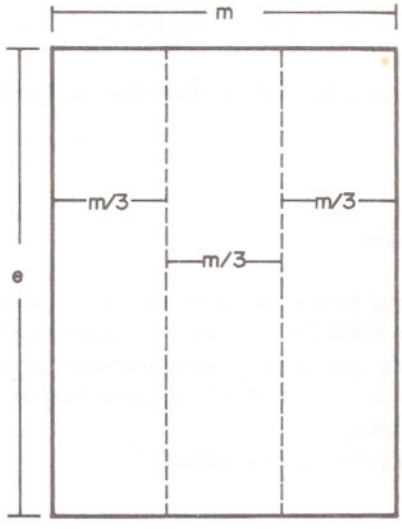


Fig. XII - 6

El momento de inercia de un tanque será:

$$i' = \frac{e \cdot m'^3}{12} = \frac{e \cdot (m/3)^3}{12} = \frac{e \cdot m^3}{12 \times 27} = \frac{i}{27}$$

El momento de inercia de los tres tanques será:

$$3 \cdot i' = 3 \cdot \frac{i}{27} = \frac{i}{3^2}$$

$3 \cdot i' = \frac{i}{3^2}$, debido a esta igualdad, se puede enunciar en términos generales, que si se divide un tanque en un número n de tanques el momento de inercia de la suma de los tanques que se han dividido, es igual al momento de inercia del tanque sin división, dividido el número de tanques elevado al cuadrado.

$$n \cdot i' = \frac{i}{n^2}$$

EJEMPLO N° 54. Un buque de un desplazamiento de 4000 Tm. tiene un doble fondo de forma rectangular de 7 m. de eslora por 4 m. de manga, en el cual se encuentra combustible de 0,85 de densidad sin llegar a llenarlo; el $\overline{GM}$ del buque sin corrección por superficies libres es de 0,90 m.. Se pide:

a) $\overline{GM}$c corregido por superficies libres

b) $\overline{GMc}$ corregido por superficies libres si a este tanque, se le dividió mediante un mamparo longitudinal en dos tanques iguales.

$$a)\ \overline{GG}' = \frac{i \times \delta}{D} = \frac{e \times m^3 \times \delta}{12 \times D} = \frac{7 \times 4^3 \times 0{,}85}{12 \times 4000} = \frac{380{,}8}{48000} = 0{,}008\ m.$$

$$\overline{GMc} = \overline{GM} - \overline{GG}' = 0{,}90 - 0{,}008 = 0{,}892\ m$$

$$b)\ \text{Sumatoria de los momentos de inercia} = n.i' = \frac{i}{n^2}$$

$$n.i' = \frac{7 \times 4^3}{12 \times 2^2} = 9{,}333\ m^4$$

$$\overline{GG}' = \frac{n.i' \times \delta}{D} = \frac{9{,}333 \times 0{,}85}{4000} = 0{,}002\ m.$$

$$\overline{GMc} = \overline{GM} - \overline{GG}' = 0{,}90 - 0{,}002 = 0{,}898\ m.$$

Como se puede apreciar, la corrección $\overline{GG}'$ por superficies libres es n^2 veces menor en los tanques divididos que en el mismo tanque sin dividir.

Hasta el momento, hemos estudiado los momentos de inercia transversales, que son aquellos con respecto a un eje longitudinal, que pasa por el centro de gravedad de la superficie libre, este momento de inercia transversal afecta la estabilidad transversal disminuyendo el $\overline{GM}$ transversal.

De la misma manera, se puede estudiar el momento de inercia longitudinal i_L, con respecto a un eje transversal que pase por el centro de gravedad de la superficie libre, este momento de inercia afecta a la estabilidad longitudinal. Debido a que el $\overline{GM}_L$ tiene un valor muy grande, casi nunca se corrige por los momentos de inercia longitudinales de las superficies libres, excepto en casos para calcular el período doble de cabeceo Td' y evitar el sincronismo longitudinal entre las olas.

El momento de inercia longitudinal se calcula mediante la fórmula siguiente:

$i_L = \frac{m \times e^3}{12}$; en donde m = manga del tanque y e = eslora del tanque.

La altura metacéntrica longitudinal corregida por superficies libres $\overline{GMc}_L$, se calculará para un tanque: $\overline{GMc}_L = \overline{GM}_L - \frac{i_L \cdot \delta}{D}$; si fueran varios tanques con superficies libres: $\overline{GMc}_L = \overline{GM}_L - \frac{\Sigma\, i_L \cdot \delta}{D}$

12.2.7. Efecto de bolsillo de las superficies libres y la ganancia de estabilidad

El efecto por superficie libre puede modificarse cuando el líquido de un tanque toca el cielo de dicho tanque o el fondo al escorarse el buque, esta disminución de la superficie libre de un tanque se llama «efecto de bolsillo». Fig. XII-7.

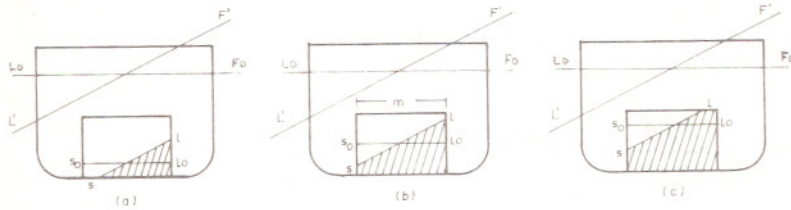


Fig. XII-7

En las figuras XII-7a y XII-7c existe efecto de bolsillo por tocar la superficie libre del líquido el fondo y el cielo del tanque respectivamente, esto hace que disminuya la manga de dicha superficie y por lo tanto disminuye la corrección por la inercia de la superficie libre del líquido.

$$i = \frac{m^3 \cdot e}{12} \text{ (tanque de superficie rectangular)}$$

En tanques que no se encuentran completamente llenos de líquidos y tienen mucha manga y poco puntal, este efecto se produce a pocos grados de escora, pero en cambio en tanques que tienen mayor puntal que manga este efecto se da a muchos grados de escora, aumentando primeramente la manga de la superficie de flotación. Los tanques de mayor puntal que manga, cuando el tanque no se encuentra lleno se debe de tener en cuenta el incremento del momento de inercia por superficie libre principalmente en buques pequeños, menores de 100 metros de eslora. (Ver Apéndice 5).

El efecto de bolsillo no se debe tener en cuenta para la corrección de la estabilidad, porque al producirse le provoca un incremento a la estabilidad.

En la práctica los tanques se llenan hasta el 95% de su capacidad, para evitar derrames por aumentos del volumen por dilatación, entonces la superficie libre reduce su manga a pocos grados de escora por el efecto de bolsillo; si bien el $\overline{GM}$ inicial y sus $\overline{GZ}$ se ven disminuidos por las superficies libres, el efecto de bolsillo no permite que aumente la pérdida de estabilidad a mayores ángulos de escoras, sino que de lo contrario hace que se gane estabilidad.

12.3. EXPERIENCIA DE ESTABILIDAD O INCLINADO

En todos los buques, después de finalizada su construcción se efectúa una experiencia de estabilidad, para determinar la altura del centro de gravedad G;

por el método de momentos verticales es muy laborioso el cálculo, debido a que se necesitan conocer con precisión todos los centros de gravedad de los pesos que componen el buque. Esta prueba no es obligatoria si se ha hecho previamente a un buque gemelo.

Esta experiencia, también se practica con buen resultado cuando el buque se encuentra cargado y no posee curvas hidrostáticas, se puede hallar la altura metacéntrica $\overline{GM}$.

Las condiciones que se requieren para efectuar esta experiencia de estabilidad, son las siguientes:

a) El buque debe encontrarse vacío y con el mínimo de tripulantes a bordo.

b) Los tanques que poseen líquidos deben reducirse al mínimo, para evitar las superficies libres.

c) En el momento de efectuar esta prueba el mar y el viento deben estar calmos.

d) Los cabos donde está amarrado el buque (muelle, espigón, pilotes, etc.) no deben estar tensos, para no ofrecer resistencia a las oscilaciones.

12.3.1. Método para efectuar la experiencia de estabilidad

Para realizar esta experiencia de estabilidad, se procede de la siguiente manera: (Fig. XII-8).

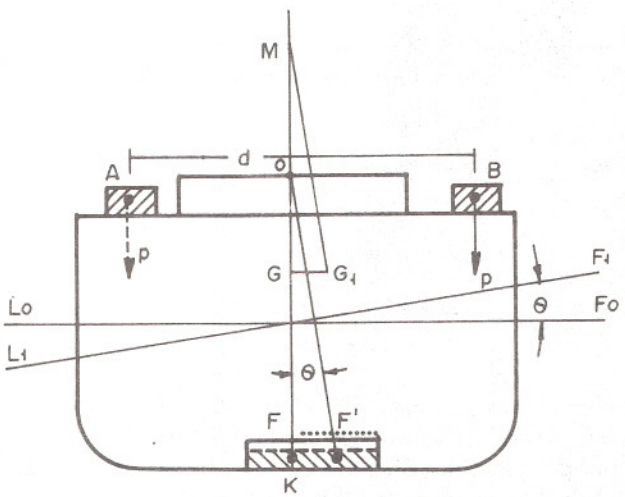


Fig. XII - 8

a) Un peso p, para trasladarlo transversalmente (este peso se conoce previamente su valor) de la posición A a la B, que puede ser sobre cubierta, una distancia d, también conocida.

b) Se coloca una regla graduada, perpendicular al plano longitudinal, en el fondo de una bodega, en la cual se medirá el desplazamiento del péndulo que se

encuentra suspendido desde un punto 0 (puede ser la bocaescotilla de una bodega) vertical al origen de la regla graduada.

c) El peso del péndulo, queda dentro de un recipiente con un líquido (agua o aceite) para evitar oscilaciones.

Al trasladar el peso p, de la posición A a la B, la distancia d, el buque se escora un ángulo θ, el hilo que suspende al péndulo desde el punto 0, también formará un ángulo θ con su posición original, trasladándose de la posición F de la regla graduada a la F'. El ángulo θ que se escora el buque es normalmente de 2 a 3 grados, se debe evitar que este ángulo sobrepase el de la estabilidad inicial del buque.

Entonces, al trasladar el peso p transversalmente, el centro de gravedad del buque G se trasladará a G_1, por lo tanto, podemos establecer la siguiente igualdad:

$$\overline{GG}_1 = \frac{p \times d}{D}$$ (Fórmula del traslado de peso transversal)

En el triángulo rectángulo que queda formado $GG_1 M$, se deduce:

$\overline{GG}_1 = \overline{GM} \text{ tg } . \theta$

Igualando los segundos miembros de las fórmulas anteriores, tenemos:

$$\frac{p \times d}{D} = \overline{GM} \text{ tg } . \theta \quad ; \text{ despejando } \overline{GM} = \frac{p \times d}{D \times \text{tg } . \theta}$$

En el triángulo rectángulo 0FF' que se forma en F, ángulo recto, entre la longitud del péndulo $\overline{0F}$ y la de la regla graduada $\overline{FF'}$, se tiene:

$$\text{Tg } . \theta = \frac{\overline{FF'}}{\overline{0F}}$$: sustituyendo este valor en la fór:nula anterior:

$$\overline{GM} = \frac{p \times d}{D \times \frac{\overline{FF'}}{\overline{0F}}} = \frac{p \times d \times \overline{0F}}{D \times \overline{FF'}}$$

Se puede enunciar lo siguiente: Para hallar el $\overline{GM}$ inicial mediante la experiencia de estabilidad, se multiplica el peso por la distancia trasladada transversalmente por la longitud del péndulo, dividido el producto del desplazamiento por la distancia que se traslada el péndulo en la regla graduada.

Después de hallado el $\overline{GM}$ y obtenido en las curvas hidrostáticas el $\overline{KM}$, se encuentra el $\overline{KG}$ o coordenada vertical del centro de gravedad G.

$\overline{KM} = \overline{KG} + \overline{GM}$

$\overline{KG} = \overline{KM} - \overline{GM}$

NOTA: El valor de la altura metacéntrica $\overline{GM}$ dado por la fórmula está corregido por superficies libres si las hubiere, entonces para encontrar el $\overline{GM}$ sin superficies

libres se debe sumar a éste la corrección. Ver Ejemplo N° 60.

EJEMPLO N° 55. En un buque de 5000 Tm. de desplazamiento, se efectúa una experiencia de estabilidad con un peso de 10 Tm. al trasladarlo sobre cubierta a una distancia transversal de 8 m.; se usa un péndulo de una longitud de 4 m. y después del traslado, se mide sobre la regla graduada 15 cm. el traslado del péndulo; se quiere saber el $\overline{KG}$ del buque, si se conoce el $\overline{KM}$ = 6 m. obtenido de la curva hidrostática.

Solución:

$$\overline{GM} = \frac{p \times d \times \overline{0F}}{D \times \overline{FF'}} = \frac{10 \times 8 \times 4}{5000 \times 0.15} = \frac{320}{750} = 0.43 \text{ m.}$$

$\overline{KG} = \overline{KM} - \overline{GM} = 6.00 - 0.43 = 5.57$ m.

El $\overline{KG}$ del buque es de 5.57 m.

En esta experiencia de estabilidad se usará más de un péndulo para que el dato obtenido en la regla graduada sea más exacto y la longitud del péndulo no deberá ser inferior a 2 metros.

Es conveniente que al inicio de esta prueba, el buque no tenga escora y el asiento en lo posible sea inferior al 1% de la eslora. Se recomienda, que la altura metacéntrica sea positiva y mayor que 0.20 m., es lógico que este valor se obtendrá con la experiencia.

EJERCICIOS

1. El buque atunero «Aratz» se encuentra en la siguiente condición: Cpr. = 4,90 m., Cpp. = = 5.50 m., $\overline{KG}$ = 4,95 m.. Con la pluma de carga se quiere descargar un peso que se halla en cubierta de 5 Tm., las coordenadas del peso y del penol de la pluma son las siguientes:

	Kg	Ppp.g	℄ g
Posición peso	10 m.	20 m.	2 m. a Er.
Posición penol sobre cubierta	16 m.	20 m.	2 m. a Er.
Posición penol sobre muelle	14 m.	15 m.	6 m. a Br.

Se pide:

a) Variación del $\overline{GM}$ y la escora producida al izar el peso sobre cubierta.

b) Calados y escora al arriar el peso sobre el muelle.

R.: a) El $\overline{GM}$ disminuye 0,01 m.; no se produce escora al izar el peso.
b) Cpr. = 4,895 m., Cpp. = 5,505 m.; Escora = 1°58' Br.

2. Una gabarra de 3500 Tm. de desplazamiento tiene 3 tanques con gasolina de densidad δ = 0,780 con superficie libre de 5 m. de eslora por 4 de manga cada uno y 2 tanques con fuel oil de densidad 0,97 con superficie libre de 4 m. de eslora por 3 de manga cada uno. Su $\overline{KG}$ = 3.00 m. y $\overline{KM}$ = 5,00 m.

Hallar: a) El $\overline{GMc}$; y b) Variación del brazo $\overline{GZ}$ al dar un bandazo de 20 grados.

R.: a) $\overline{GMc}$ = 1,977 m. ; b) Disminuye el brazo $\overline{GZ}$ a 20° = 0,008 m.

3. En un buque de 2.300 L/T se efectúa una experiencia de estabilidad con un peso de 30 L/T. trasladándolo transversalmente una distancia de 15 pies, la longitud del péndulo es de 20 pies, desviándose 1 pie de distancia sobre la regla graduada. Determinar: El $\overline{KG}$ sabiendo que su $\overline{KM}$ = 25 pies.

R.: $\overline{KG}$ = 21'01''.

CAPITULO XIII

CARGA Y DESCARGA DE PESOS

13.1. GENERALIDADES

Al cargar un peso en un buque primeramente va a aumentar su calado medio, también pueden variar los calados de proa y popa, producir escora y aumentar o disminuir su estabilidad, dependiendo todos estos cambios del lugar donde se haya cargado el peso. Por el contrario, al descargar un peso, su calado medio disminuirá y podrá variar su escora, asiento y estabilidad, dependiendo también del lugar donde se haya descargado el peso.

13.2. VARIACION DEL CALADO MEDIO AL CARGAR O DESCARGAR UN PESO

Siempre al cargar un peso, el calado medio de un buque va a aumentar y al descargar disminuirá.

Sea el peso p que se ha cargado, Fig. XIII-1, la línea de flotación que era LoFo pasará a L'F' aumentando Δ C (delta calado), para que el buque permanezca en equilibrio. Por el principio de Arquímedes, al aumentar el peso del cuerpo flotante, éste se sumerge más y aumenta el empuje.

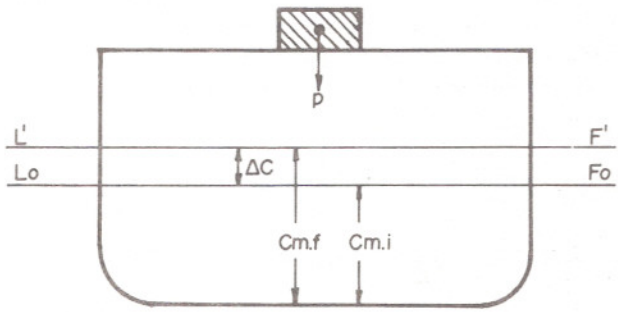


Fig. XIII-1

Este incremento del calado medio se calcula como sigue:

$$\Delta C = \frac{p}{Tc} = \text{Incremento de calado}$$

Tc = Toneladas por centímetro de inmersión

Si se descarga el peso p, sucede lo contrario que al cargarlo, el calado medio sufrirá un decremento ΔC, que se calcula de la misma manera su valor absoluto.

En general si llamamos I al ΔC para la carga o descarga de un peso se puede escribir: $I = \frac{p}{Tc}$, este valor de la inmersión al cargar un peso o emersión al descargar un peso, se expresa en centímetros cuando el peso se divide por Tc o en pulgadas cuando el peso se divide por Tp = Toneladas por pulgadas de inmersión.

EJEMPLO N° 56. Un buque cuyo Cm. = 3,60 m., se carga un peso de 85 Tm., sus toneladas por centímetro de inmersión son 8,5 Tm.. Hallar el nuevo calado medio.

$$I = \frac{p}{Tc} = \frac{85}{8,5} = 10\,cm.$$

$$Cm.f = Cm.i + I = 3,60 + 0,10 = 3,70\,m.$$

13.3. VARIACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL BUQUE AL CARGAR O DESCARGAR UN PESO

13.3.1. Cálculo de la escora

Al cargar o descargar un peso en un buque, éste va sufrir una escora si el peso fue cargado o descargado fuera del plano longitudinal, debido a que hay un traslado del centro de gravedad del buque G hacia una banda.

Por ejemplo, si cargamos un peso, Fig. XIII-2, en el costado de babor posición A, el centro de gravedad G se trasladará a G', ($\overline{GG'}$ está en la misma dirección de $\overline{Gg}$) entonces podemos apreciar, que el centro de gravedad del buque después de haber cargado el peso p, no se encuentra en crujía sino que tiene una componente $\overline{GG}_t$ (distancia transversal del centro de gravedad).

El nuevo desplazamiento D' después de cargar el peso p, sería:

$D' = D + p$

La escora θ se puede calcular mediante la fórmula $tg\ \theta = \frac{\overline{GG}_t}{\overline{GM}}$

$\overline{GG}_t = \frac{p \times d_t}{D + p}$, sustituyendo en la fórmula anterior, $tg\ \theta = \frac{p \times d_t}{(D + p)\overline{GM}}$

Si fuera descarga de un peso esta fórmula se transformará en:

$$tg.\ \theta = \frac{p \times d_t}{(D - p)\overline{GM}}$$

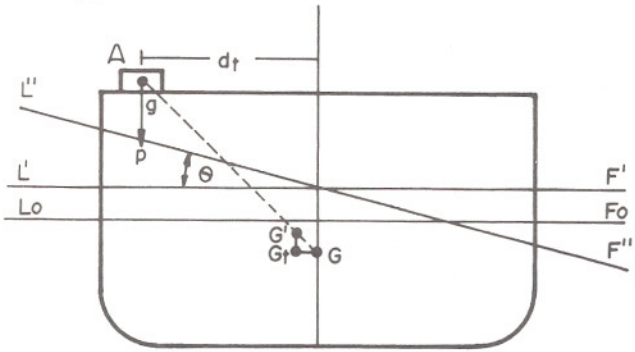


Fig. XIII - 2

13.3.2. Cálculo de la altura metacéntrica

Si cargamos un peso p, Fig. XIII-3, en la posición A, es decir, sobre el centro de gravedad del buque G, éste se trasladará una distancia $\overline{GGv}$ vertical en el sentido en que se cargó el peso. Al cargar el peso el desplazamiento aumenta, por lo tanto será: D' = D + p.

El traslado $\overline{GGv}$ se calcula mediante la fórmula:

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D + p.}$$

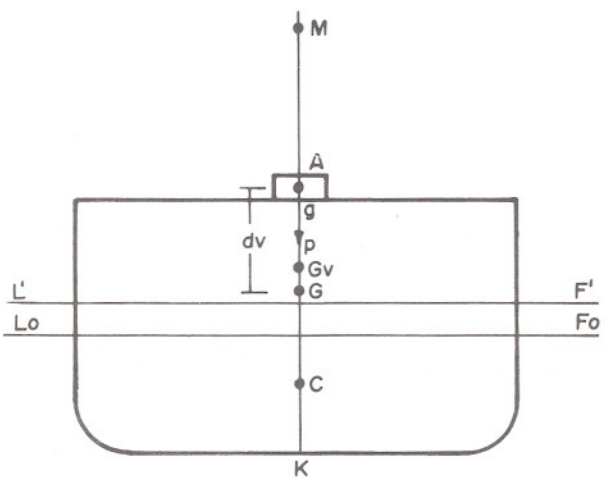


Fig. XIII - 3

La altura metacéntrica que era $\overline{GM}$, será después del traslado $\overline{GvM} = \overline{GM} - \overline{GGv}$

En este caso se supone que el metacentro M no ha variado.

Si el peso estuviera cargado por debajo de G, la altura metacéntrica aumentará y se calculará, como sigue:

$\overline{GvM} = \overline{GM} + \overline{GGv}$

Si en vez de cargar se descargara un peso, la traslación del centro de gravedad G del buque se encuentra como sigue:

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D - p}$$; y el $\overline{GvM} = \overline{GM} \pm \overline{GGv}$; como regla general se puede decir que se suma (+) cuando se descargan pesos que están sobre el centro de gravedad del buque G y se resta (−) en caso que los pesos descargados estuvieran a menor altura que el G del buque.

La coordenada vertical del centro de gravedad G al cargar o descargar pesos se calculará, como sigue:

$\overline{KGv} = \overline{KG} \pm \overline{GGv}$

(+) Peso p se carga por encima de G
Peso p se descarga por debajo de G

(−) Peso p se carga por debajo de G
Peso p se descarga por encima de G

13.3.3. Cálculo de los calados

Al cargar o descargar un peso, los calados de proa y popa cambian, pero el asiento A puede permanecer constante o variar, estudiaremos por separado estos dos casos:

a) Carga o descarga de un peso en la vertical del centro de flotación F

Al cargar o descargar un peso en la vertical del centro de flotación F, Fig. XIII-4, sufrirá una inmersión o emersión I, sin producir variación en el asiento del buque.

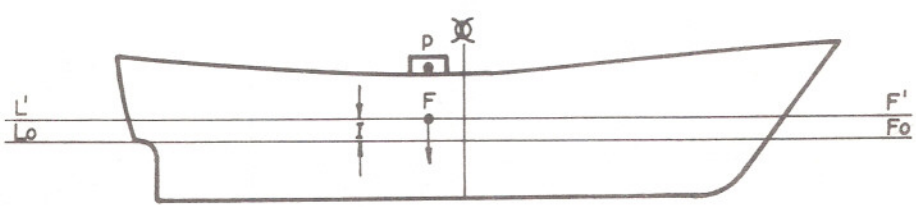


Fig. XIII - 4

Si en el caso de la figura fuera el peso p cargado sobre F, los calados se hallan como sigue:

$$Cpr.f = Cpr.i + I = Cpr.i + \frac{p}{Tc}$$

$$Cpp.f = Cpp.i + I = Cpp.i + \frac{p}{Tc}$$

En el caso de descarga del peso p, sobre el centro de flotación F, los calados se hallan:

$$Cpr.f = Cpr.i - I = Cpr.i - \frac{p'}{Tc}$$

$$Cpp.f = Cpp.i - I = Cpp.i - \frac{p}{Tc}$$

b) Carga o descarga de un peso fuera de la vertical que pasa por el centro de flotación F

Supongamos que al buque de la Fig. XIII-5 le cargamos un peso p fuera de la vertical que pasa por el centro de flotación F y el cual se encuentra a una distancia d_L a proa de F, le va a producir un momento al buque que lo hará rotar sobre el eje que pasa por F, aproando al buque.

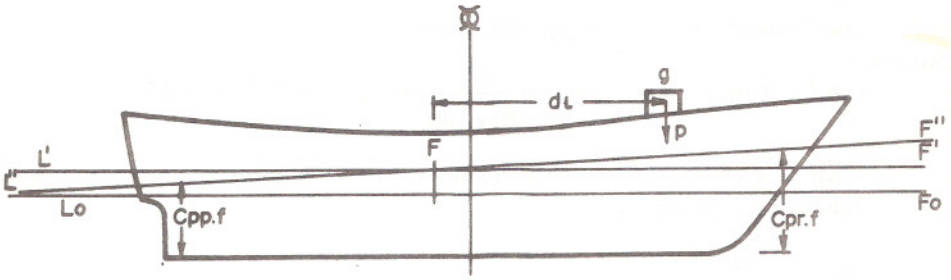


Fig. XIII - 5

Podemos establecer la siguiente igualdad, $a.Mu = p \times d_L = p \times \overline{gF}$; además, el buque aumentará su calado medio un incremento $I = \frac{p}{Tc}$

La alteración que sufre por la carga del peso p será:

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu}$$

Los calados finales se calcularán de la siguiente manera: (Ver Apéndice 4)

$Cpr.f = Cpr.i + I + apr.$

Cpp.f = Cpp.i + I − app.

Si el peso p hubiera sido cargado a popa de F los signos de la alteración a proa (apr) y a popa (app) serán contrarios y los calados finales se calcularán mediante las fórmulas siguientes:

Cpr.f = Cpr.i + I − apr.

Cpp.f = Cpp.f + I + app.

El signo del incremento I es siempre positivo (+) en la carga de pesos.

Si en vez de cargar, se descargara un peso, los calados de proa y popa variarán y se encontrarán de la siguiente manera:

$Cpr.f = Cpr.i - I \overset{+}{-} apr.$

$Cpp.f = Cpr.i - I \underset{+}{-} app.$

El signo del decremento I es siempre negativo (−) en la descarga y los signos de la alteración a proa (apr) y a popa (app) serán: positivo (+) apr. y negativo (−) app. cuando el peso es descargado a popa de F.

Cuando el peso sea descargado a proa de F los signos serán negativo (−) apr. y positivo (+) app.

EJEMPLO N° 57. Un buque se encuentra en la siguiente condición: D = 7000 Tm., Cm = 5,1 m., $\overline{GM}$ = 0,80 m., $\overline{KG}$ = 4,50 m., Tc = 20 Tm. Se carga un peso de 100 Tm. en un punto A cuyas coordenadas son: $\overline{Kg}$ = 1,20 m., $\overline{\text{₡g}}$ = 4 m. a Er.

Se pide:

a) Calado medio final

b) $\overline{GM}$ final

c) Escora después de haber cargado el peso.

Solución:

a) $Cm.f = Cm.i + I = 5{,}10 + \dfrac{100}{20 \times 100} = 5{,}10 + 0{,}05 = 5{,}15$ m.

b) $\overline{GMf} = \overline{GvM} = \overline{GM} + \overline{GGv}$ (el signo es (+) porque el peso se cargó por debajo de G del buque)

$$\overline{GGv} = \frac{p \times dv}{D + p}$$

$dv = \overline{KG} - \overline{Kg} = 4{,}50 - 1{,}20 = 3{,}30$ m.

$$\overline{GGv} = \frac{100 \times 3{,}30}{7.000 + 100} = 0{,}046 \text{ m.}$$

$\overline{GMf} = 0{,}80 + 0{,}05 = 0{,}85$ m.

c) $Tg.\ \theta = \dfrac{p \times d_t}{(D + p)\,\overline{GMf}}$

$d_t = \overline{\text{₡g}} = 4$ m. hacia Er.

$$\text{Tg. } \theta = \frac{100 \times 4}{(7.000 + 100)0{,}85} = \frac{400}{6035} = 0{,}06628$$

$\theta = 3°47'31''$ a estribor.

EJEMPLO N° 58. Un buque se encuentra con Cpr. = 5,40, Cpp. = 6,10 m., E = 140 m., Tc = 25 Tm, $\overline{\text{F}}$ F = 3,20 m. hacia popa, Mu = 90 Tm.m., se descarga un peso de 150 Tm de la bodega N° 5 que se encuentra a 36 m. a popa de la cuaderna maestra.

Hallar los calados finales. Ver Apéndice 4 para la resolución.

Cpr.f = Cpr.i − I + apr.

Cpp.f = Cpp.i − I − app.

$$I = \frac{p}{Tc} = \frac{150}{25} = 6\,\text{cm.} = 0{,}06\,\text{m.}$$

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} = \frac{150 \times (36 - 3{,}20)}{90} = 54{,}667\,\text{cm.} = \text{aprox. } 55\,\text{cm.} -$$

(aproante)

$$\text{apr.} = \frac{a}{E} \cdot \text{dpr.}$$

$$\text{dpr.} = E/2 + \overline{\text{F}}\,\text{F} = 140/2 + 3{,}20 = 73{,}20\,\text{m.}$$

$$\text{apr.} = \frac{55}{140} \times 73{,}20 = 28{,}75\,\text{cm.} = \text{aprox. } 29\,\text{cm.}$$

app. = a − apr. = 55 − 29 = 26 cm. = 0,26 m.

Cpr.f = 5,40 − 0,06 + 0,29 = 5,63 m; Cpp.f = 6,10 − 0,06 − 0,26 = 5,78 m.

EJEMPLO N° 59. Un buque se halla en la siguiente condición: Cpr. = 16'06'', Cpp. = 20'08'', $\overline{KG}$ = 16'05'', Tp = 50 L/T, D = 6.800 L/T, se descarga un peso de 200 L/T que se encuentra en cubierta a 28 pies de la quilla y sobre el centro de flotación F del buque.

Se pide:

a) Calados finales

b) Altura del centro de gravedad después de descargar el peso.

$$\text{a) Cpr.f} = \text{Cpr.i} - \text{I} = 16'06'' - \frac{200}{50} = 16'02''$$

$$\text{Cpp.f} = \text{Cpp.i} - \text{I} = 20'08'' - \frac{200}{50} = 20'04''$$

Debido a que el peso fue descargado sobre el F no hay alteración de los calados, solamente el buque emerge parejo o paralelo su superficie de flotación.

b) $\overline{KG}v = \overline{KG} - \overline{GG}v$ (El signo es negativo porque el peso descargado está a una altura mayor que el centro de gravedad G del buque)

$$\overline{GG}v = \frac{p \times dv}{D - p}$$

$$dv = \overline{Kg} - \overline{KG} = 28' - 16'05'' = 11'07'' = 11{,}58'$$

$$\overline{GG}v = \frac{200 \times 11{,}58'}{6.800 - 200} = 0{,}35' = 4{,}2''$$

$$\overline{KG}v = 16'05'' - 4{,}2'' = 16'00{,}8''$$

EJEMPLO N° 60. Un buque se encuentra en la siguiente condición: D = 900 Tm, Cpr = 2,10 m., Cpp = 3,10 m., $\overline{KM}$ = 4,05 m., se realiza una experiencia de estabilidad utilizando un peso de 4 Tm. situado en cubierta a 5,20 m. sobre la quilla y se traslada 5 m. transversalmente, la longitud de la plomada es de 2,80 m. y midiéndose sobre la regla graduada 16 cm.

Al efectuarse la experiencia tiene 2 tanques parcialmente llenos, uno de 3,80 m. de eslora por 3 m. de manga, con 6 Tm de agua dulce; cuyo $\overline{Kg}$ = 1,5 m. y el otro de 5 m. de eslora por 4 m. de manga, con 200 Tm. de gas oil de densidad 0,85 y cuyo $\overline{Kg}$ = 2,80.

Hallar la altura metacéntrica y la altura del centro de gravedad después de haber achicado dichos tanques y descargado el peso usado en la experiencia.

Solución: Experiencia de estabilidad

$$\overline{GM}c = \frac{p \times d \times \text{Long. péndulo}}{D \times \text{Dist. desplaz. sobre regla}}$$

$$\overline{GM}c = \frac{4 \times 5 \times 2{,}8}{900 \times 0{,}16} = \frac{56}{144} = 0{,}39 \text{ m.}$$

Corrección del $\overline{GM}$ por superficies libres

$\overline{GG}' = \dfrac{i.\delta + i.\delta}{D}$; son dos los tanques que se deben corregir por superficies libres, tienen densidades y dimensiones diferentes.

$$i.\delta = \frac{3{,}8 \times 3^3 \times 1}{12} = 8{,}55 \text{ Tm.m.}$$

$$i'.\ \delta' = \frac{5 \times 4^3 \times 0{,}85}{12} = 22{,}67\ \text{Tm.m.}$$

$$\overline{GG'} = \frac{8{,}55 + 22{,}67}{900} = \frac{31{,}22}{900} = 0{,}035\ \text{m.}$$

$\overline{GM} = \overline{GM}c + \overline{GG'} = 0{,}39 + 0{,}035 = 0{,}425$ m. (Este $\overline{GM}$ es el que el buque tiene al no haber superficies libres). La altura metacéntrica dada en la experiencia de estabilidad está corregida por superficies libres.

Altura del centro de gravedad $\overline{KG'}$

$\overline{KG'} = \overline{KM} - \overline{GM} = 4{,}05 - 0{,}425 = 3{,}625$ m.
Altura del centro de gravedad $\overline{KG}v$, se debe corregir por desembarco de pesos.
$\overline{KG}v = \overline{KG'} + \overline{G'G}v$
$\overline{G'G}v$ = es el traslado vertical producido por los tres pesos descargados.

$$\overline{G'G}v = \frac{p_1 \cdot dv_1 + p_2 \cdot dv_2 + p_3 \cdot dv_3}{D - (p_1 + p_2 + p_3)}$$

$$\overline{G'G}v = \frac{4 \times (3{,}62 - 5{,}20) + 6 \times (3{,}62 - 1{,}50) + 200 \times (3{,}62 - 2{,}80)}{900 - (4 + 6 + 200)}$$

$$\overline{G'G}v = \frac{-6{,}3 + 12{,}72 + 164}{900 - 210} = \frac{170{,}42}{690} = 0{,}25\ \text{m.}$$

$\overline{KG}v = 3{,}62 + 0{,}25 = 3{,}87$ m. (El $\overline{G'G}v$ se suma debido a que los momentos verticales por descarga de pesos bajos es mayor que los de momentos verticales de pesos altos, por lo tanto el G del buque va a subir).

13.4. CARGA Y DESCARGA DE VARIOS PESOS

Cuando tenemos que cargar o descargar varios pesos en un buque, es muy engorroso calcular los efectos que produce cada peso en la estabilidad, calados y escora del buque. Conociendo las coordenadas del centro de gravedad G del buque, con desplazamiento en rosca o en una condición de carga cualquiera, se hallan las coordenadas del nuevo centro de gravedad del buque empleando la ecuación de momentos.

Anteriormente, vimos como se calculaba la altura del centro de gravedad $\overline{KG}$, mediante el método de la experiencia de estabilidad o inclinado (epígrafe 12-3), la cual es obligatoria cuando el buque sale del astillero. Otro método es el del período

de balance o rolido con el cual se halla el $\overline{GMc}$ (epígrafe 7-4-1), de donde $\overline{KGc} = \overline{KM} - \overline{GMc}$, aunque este método es aproximado debido a que existen muchas causas sujetas a errores.

El método más empleado a bordo, es aquel nombrado anteriormente de la ecuación de momentos. Sea por ejemplo un buque formado por un sistema de pesos $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$ cuyas distancias del centro de gravedad de cada peso $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$ al plano de referencia son: $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$; el peso total del sistema es la suma de todos los pesos $p_1 + p_2 + p_3 \dots + p_n = D$. Para hallar la distancia del centro de gravedad G del sistema d_G al plano de referencia se establece la siguiente ecuación de momentos:

$$d_G = \frac{d_1 \times p_1 + d_2 \times p_2 + d_3 \times p_3 \dots + d \times p_n}{p_1 + p_2 + p_3 \dots + p_n} = \frac{\Sigma\, p \times d}{D}$$

TEOREMA DE MOMENTOS: La distancia del centro de gravedad de un sistema de pesos, es igual a la sumatoria de todos los momentos de los pesos que lo forma con referencia a un plano dividido por el peso total del sistema.

Aplicando a un buque esta ecuación con referencia a los planos base, longitudinal y transversal, cuyas coordenadas al centro de gravedad son $\overline{KG}$, $\overline{\mathfrak{M}G}$ y $\overline{\mathfrak{C}G}$ respectivamente, tenemos:

$$\overline{KG} = \frac{\Sigma \text{ Momentos verticales}}{\text{Desplazamiento}} \qquad \overline{\mathfrak{M}G} = \frac{\Sigma \text{ Momentos longitudinales (*)}}{\text{Desplazamiento}}$$

$$\overline{\mathfrak{C}G} = \frac{\Sigma \text{ Momentos transversales}}{\text{Desplazamiento}}$$

Después de obtener estas coordenadas, se calcula la estabilidad transversal y longitudinal; se trazan las curvas estática y dinámica y se hallan los calados y escora que tendrá el buque finalmente.

Al realizar estos cálculos se puede partir con el buque en una condición de carga cualquiera o el buque con un desplazamiento en rosca.

Veamos mediante algunos ejemplos:

EJEMPLO N° 61. Un buque se encuentra en la siguiente condición de carga: D = 8.650 Tm., $\overline{KG}$ = 3,70 m., $\overline{\mathfrak{M}G}$ = 1,5 m. hacia popa. Se carga en la Bodega I = 500 Tm., Bodega II = 300 Tm. y en la Bodega IV = 450 Tm., se deslastra o descarga del doble fondo N° 3 = 250 Tm..

(*) Si el plano de referencia en que se toman los momentos longitudinales fuera el de la perpendicular de popa Ppp., en vez del plano de la cuaderna maestra $\mathfrak{M}$, la coordenada longitudinal se halla como sigue:

$$\overline{\mathfrak{M}\,Ppp.} = \frac{\Sigma \text{ Momentos longitudinales,}}{\text{Desplazamiento}}$$

De los datos del buque de c. de g. de bodegas y tanques, se obtiene:

	$\overline{Kg}$.	$\overline{\text{Æ G}}$
Bodega I	3.20 m.	45,20 m. a proa
Bodega II	3,10 m.	32,40 m. a proa
Bodega IV	3,70 m.	23,10 m. a popa
Doble Fondo N° 3	0,60 m.	8,50 m. a proa

Se pide:

a) Altura metacéntrica transversal

b) Calados finales

c) El brazo de adrizamiento para 30° de escora, si su $\overline{KN}$ para esa escora es de 2,15 m..

d) Escora que tiene el buque si se conoce que la suma de los momentos transversales son de 480 Tm.m. a estribor.

Solución:

En este problema partimos de una condición de carga dada, en la cual conocemos las coordenadas iniciales del centro de gravedad G del buque.

Para contestar las preguntas será muy laborioso hallar uno por uno el efecto que causa en el $\overline{GM}$, en sus calados o brazos $\overline{GZ}$ de la curva de estabilidad, ya que como son varios pesos que se cargan y uno que se descarga. Por ello se establece un Cuadro de momentos como sigue:

CUADRO DE MOMENTOS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
				M verticales			M longitudinales	
Descripción	Carga	Descarga	$\overline{Kg}$	Carga	Descarga	$\overline{\text{Æ g}}$	Apopante	Aproante
Buque	8650		3,70	32.005		+ 1.50	12.975	
Bodega I	500		3,20	1.600		− 45,20		22.600
Bodega II	300		3,10	930		− 32,40		9.720
Bodega IV	450		3,70	1.665		+ 23.10	10.395	
D.F. N° 3		250	0,60		150	− 8,50	2.125	2.125
	9900	250		36.200	150		23.370	32.320
	250			150				23.370
Desplazamiento =	9650		3,74 m.	36.050		− 0,93 m.		8.950

Entrando en las curvas hidrostáticas con el desplazamiento D = 9.650 Tm., se obtiene: $\overline{KM}$ = 4,15 m., $\overline{\text{ÆF}}$ = 0 m., Cm = 6,55 m., $\overline{\text{ÆC}}$ = 0,20 m. hacia proa de la cuaderna maestra, Mu = 95 Tm.m./cm..

a) Altura metacéntrica

$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 4{,}15 - 3{,}74 = 0{,}41$ m.

b) Calados finales

$$A = \frac{\overline{CG}_L \cdot D}{Mu} \quad \text{(Epígrafe 11-6)}$$

$\overline{CG}_L = \overline{\text{⌖}G} - \overline{\text{⌖}C} = (-0{,}93) - (-0{,}20) = -0{,}73$ (los signos menos indican distancias hacia proa).

$$A = \frac{(-0{,}73) \cdot 9650}{95} = -74 \text{ cm. (aproado) o porque el } G_L \text{ está a proa del C}$$

Cpr.f = Cm. + A/2 = 6,55 + 0,74/2 = 6,92 m.
Cpp.f = Cm. − A/2 = 6,55 − 0,74/2 = 6,18 m.

c) $\overline{GZ}_{30^\circ} = \overline{KN} - \overline{KG}.\text{sen}\ \theta = 2{,}15 - 3{,}74 \text{ sen } 30^\circ = 2{,}15 - 1{,}87 = 0{,}28$ m

d) Escora

$$\overline{\text{℄}G}_t = \frac{\Sigma \text{ Momentos transversales}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{480}{9650} = 0{,}0497 \text{ m. (+)}$$

$$\text{tg. } \theta = \frac{\overline{\text{℄}G_t}}{\overline{GM}} = \frac{0{,}0497}{0{,}41} = 0{,}1212195 \quad ; \quad \theta = 6^\circ 55' \text{ a estribor}$$

NOTA: El Cuadro de momentos se realiza para determinar las nuevas coordenadas del c. de g. G del buque después de efectuar cargas y descargas de pesos. La columna (1) señala la descripción de los pesos, buque, carga, lastre, consumos, etc. La columna (2) indica los pesos de carga y la (3) los pesos de descarga. Las columnas (4) y (7) representan las coordenadas verticales y longitudinales de los diferentes pesos. Las columnas (5) y (6) representan los momentos verticales de la carga y descarga respectivamente; las columnas (8) y (9) los momentos longitudinales. En la columna (8) los momentos apopantes y en la (9) los aproantes.

Al pie de la columna (2) se da el desplazamiento final o sea todos los pesos del buque menos los que se descargaron. Al pie de la columna (5) aparece la sumatoria de los momentos verticales habiéndose restado los momentos de la descarga.

Al pie de la columna (4) se obtiene el valor del $\overline{KG}$ del buque que es el cociente entre la sumatoria de los momentos verticales y el desplazamiento.

Al pie de la columna (9) se tiene la sumatoria de los momentos aproantes menos los apopantes, como los primeros son mayores el resultado es momentos aproantes.

Finalmente al pie de la columna (7) se da la coordenada $\overline{\text{⌖}G}$ que es el cociente de dividir la sumatoria de los momentos aproantes entre el desplazamiento.

EJEMPLO N° 62. Un buque se halla con un desplazamiento de 6.300 Tm., una escora = 3° a estribor e i. δ = 760 Tm.m..

Se realizan las operaciones siguientes:

1°. Se descarga de la bodega N° 2, 380 Tm.

2°. Se lastra el pique de proa, 100 Tm.

3°. Se transvasa el lastre del D.F. N° 6 que es de 60 Tm. al D.F. N° 2, este último tanque queda con un momento por superficie libre de i. δ = 320 Tm.

Datos:	Coordenadas $\overline{Kg}$	$\overline{⊠ g}$	$\overline{℄ g}$
Buque al Desplazamiento inicial	6,10	− 1,10	+ 0,08
Bodega N° 2	3,60	− 16,00	—
Pique de proa	4,00	− 50,00	—
D.F. N° 6	0,60	− 3,00	+ 3,50
D.F. N° 2	0,70	-- 30,00	− 2,80

Se pide:

a) Coordenadas de G después de efectuar las operaciones

b) Calados aproximados y escora

c) Peso que se deberá cargar en la bodega N° 3 para salir con calados iguales, sabiendo que su $\overline{⊠ g}$ = + 10 m. (a popa de la cuaderna maestra).

Solución:

Se establece el Cuadro de momentos para hallar las coordenadas del G, los signos menos representan distancias a proa de la cuaderna maestra y a babor de la línea central.

Con el desplazamiento obtenido en la columna que dice carga, se obtiene en las curvas hidrostáticas del buque los siguientes valores: $\overline{⊠ C}$ = 1,60 m., Cm = 4,70 m., Mu = 98 Tm.m., $\overline{KM}$ = 7,30 m.

CUADRO DE MOMENTOS

Descripción	Carga	Descarga	$\overline{Kg}$.	M. verticales Carga	M. verticales Desca.	$\overline{⊠ g}$	M. longitudi. Popa	M. longitudi. Proa	$\overline{℄ g}$	M. transv. Er.	M. transv. Br.
Buque Di	6.300	—	6.10	38430	—	− 1,1		6930	+ 0.08	504	
Bodega N° 2		380	3.60		1368	− 16,0	6080		—	—	—
Pique de proa	100	—	4.00	400		− 50,0		5000	—	—	—
D.F. N° 6		60	0.60		36	− 3,0	180		+ 3.50	—	210
D.F. N° 2	60	—	0.70	42	—	-- 30,0		1800	− 2.80		168
	6.460	440		38872	1404		6260	13730		504	378
	440			1404				6260		378	
	6.020		6.22	37468		− 1.24		7470	+ 0.02	126	

a) Coordenadas:

$$\overline{KG} = \frac{\Sigma \text{ Mvert.}}{D} = \frac{37468}{6020} = 6{,}22 \text{ m.}$$

$$\overline{\text{[illegible]}G} = \frac{\Sigma \text{ Mlong}}{D} = \frac{7470}{6020} = -1{,}24 \text{ m. (a proa de la [illegible])}$$

$$\overline{\text{[illegible]}G} = \frac{\Sigma \text{ Mtrans.}}{D} = \frac{126}{6020} = +0{,}021 \text{ m. (a estribor de la [illegible])}$$

b) Calados aproximados:

$$\overline{CG} = \overline{\text{[illegible]}G} - \overline{\text{[illegible]}C} = -1{,}24 - (+1{,}60) = -2{,}84 \text{ m.}$$

$$A = \frac{\overline{CG} \cdot D}{Mu} = \frac{-2{,}84 \times 6020}{98} = -174 \text{ cm.} = -1{,}74 \text{ m.}$$

Cpr. aprox. = Cm + A/2 = 4,70 + 1,74/2 = 5,57 m.

Cpp. aprox. = Cm. − A/2 = 4,70 − 1,74/2 = 3,83 m.

Escora:

$$\text{Tg} \cdot \theta = \frac{\overline{\text{[illegible]}G}}{\overline{GMc}}$$

$\overline{GMc}$ = Altura metacéntrica corregida por superficies libres

$$\overline{GMc} = \overline{GM} - \overline{GGv} = \overline{GM} - \frac{\Sigma i \cdot \delta}{D}$$

$$\overline{GGv} = \frac{760 + 320}{6020} = 0{,}18 \text{ m.}$$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} = 7{,}30 - 6{,}22 = 1{,}08 \text{ m.}$$

$$\overline{GMc} = 1{,}08 - 0{,}18 = 0{,}90 \text{ m.}$$

$$\text{Tg} \cdot \theta = \frac{+0{,}021}{0{,}90} = 0{,}0232558$$

$\theta = 1°20'$ escorado a estribor

c) Peso a cargar en la bodega N° 3

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} \; ; \; p = \frac{a \times Mu}{d_L}$$

d_L = $\overline{\text{c.g}}$ = 10 m. (Esta distancia debería ser aquella comprendida entre el c. de g. de la bodega y el de flotación F, pero como no se conoce la distancia longitudinal de F, se supone que está en $\overline{\text{c.g}}$)

$$p = \frac{a \times Mu}{d_L} = \frac{174 \times 98}{10} = 1705{,}20 \text{ Tm.}$$

NOTA: En el Cuadro de momentos de este ejemplo, se puede observar que el transvase de lastre del D.F. N° 6 al D.F. N° 2, equivale a un corrimiento de peso, por lo tanto se consideró que se descargó del D.F. N° 6 y se cargó en el D.F. N° 2.

13.5. TANQUES CON LIQUIDOS. PRECAUCIONES AL LASTRAR Y DESLASTRAR

Todos los buques que se encuentran en servicio poseen tanques, (doble fondos, piques, tanques de lastre, etc.) que tienen distintos tipos de líquidos para sus variados servicios, como el combustible, agua potable, agua de calderas, agua de lastre; estos líquidos tienen mucha influencia en la estabilidad del buque ya sea por su peso en sí o por las superficies libres que se crean al no encontrarse llenos.

Los tanques siempre que sea posible deben de llevarse llenos o vacíos para evitar el efecto de superficies libres. Un líquido en un recipiente cualquiera si se encuentra lleno se comporta como un sólido, entonces al lastrar o llenar un tanque con un líquido se debe considerar si ese tanque es un peso alto o bajo para que disminuya o aumente la estabilidad, lo mismo al deslastrar o vaciar un tanque, causará un efecto en la estabilidad según la posición en que se encuentre.

En los buques petroleros y bulk-carrier que poseen muchos tanques para cargas líquidas; y estos últimos que muchas veces llevan agua de lastre en sus bodegas, cuando navegan en lastre, gran influencia tienen sus superficies libres en la estabilidad.

Cuando haya que lastrar o deslastrar tanques, no se debe hacer todos a la vez, sino de a uno o de a dos cuando son simétricos para evitar que al encontrarse a media capacidad los tanques, las superficies libres a considerar sean del menor número de tanques. En el consumo normal de los buques no se puede evitar que no haya tanques a media capacidad, pero, lo que sí se puede, es reducir la cantidad de ellos, poniendo en servicio un tanque de agua o combustible y consumirlo completamente antes de comenzar otros.

Al deslastrar tanques, se deben hacer primero los más altos y tener precaución que el buque conserve un asiento apopante para que el agua corra hacia popa donde se encuentra la toma de mar del tubo succionador.

Si el efecto o pérdida de estabilidad por superficies libres fuera muy grande puede alcanzar a anular y volverse negativa la altura metacéntrica (GM), el buque se escora hasta un cierto ángulo a una u otra banda, hasta quedar en equilibrio.

Si se sabe que la escora de un buque es causada por el efecto de superficies libres, no se debe corregir la escora lastrando un tanque opuesto al costado escorado o corriendo pesos para ese costado opuesto, porque el buque se escora hacia la banda opuesta y muchas veces con mayor ángulo de escora.

El peligro es, que al cambiar del costado escorado, el balance debido a la inercia que lleva el buque puede duplicar el ángulo de escora, hacia la otra banda, pudiendo producir una avería en la carga o al personal embarcado; si estuviera en puerto el buque puede dañar el equipo de estiba (cintas transportadoras, tubos de succión de cereales, grúas del muelle, grúas flotantes, etc.).

Para eliminar el $\overline{GM}$ negativo de un buque, se puede proceder como sigue:

a) Eliminando superficies libres de los tanques, rellenando todos los tanques de lastre que no estén completos, y dejando el mínimo posible de superficies libres.

b) Trasladando pesos altos a planes inferiores.

c) Lastrando tanques bajos o doble fondos. Para llenar estos tanques se comienza por tanques que se encuentran en el mismo lado que la escora. Al ir cargando estos pesos bajos, va bajando el G hasta anular el $\overline{GM}$. Cuando se calcula que la escora se debe a pesos asimétricos, se procede a trasladar o cargar pesos hacia el otro costado.

Cuando se está en puerto en carga o descarga, se pueden producir estos casos de quedar con el $\overline{GM}$ negativo, esto es debido a que se tiene un porcentaje grande de pesos de la carga en cubierta o entrepuentes altos y en los fondos de las bodegas se tiene poca carga. Para evitar lo anteriormente dicho, se debe cargar las bodegas (fondos de bodegas) antes que los entrepuentes o descargar a éstos antes que los fondos de bodegas.

13.6. CARGA DE PESOS ALTOS

Se denominan a todos los pesos que están cargados en las partes más altas del buque, como lo son en entrepuentes superiores y cubiertas.

Muchas cargas se estiban en cubierta ya sea por su naturaleza o porque son voluminosas y se transportan en forma de trojas.

Estas cargas en cubierta, principalmente, se debe tener mucho cuidado porque afectan en forma negativa a la estabilidad del buque. Previamente a la salida de puerto, se deben efectuar los cálculos para que el buque cumpla con los criterios de estabilidad, considerando los consumos durante el viaje.

Otro factor importante a considerar cuando se transporte maderas en cubierta, es la absorción de agua que puede llegar al 25% del peso de la misma.

13.7. FORMACION DE HIELO EN PARTES ALTAS DEL BUQUE

En ciertas condiciones meteorológicas se origina la formación de hielo, debido a rociones de agua de mar o precipitaciones, tipo niebla o neblina principalmente.

Esta formación de hielo puede alcanzar a 30 Kg. por metro cuadrado en superficies horizontales, pero el hielo no solamente se forma sobre cubierta sino sobre los costados del casco, barandillas, casetas, anclas, aparejos, antenas, palos, obenques, cabullería, etc., estos pesos reducen las condiciones marineras del buque, y puede producir:

a) Aumento de peso o desplazamiento, por lo tanto reducción del francobordo y flotabilidad.

b) Elevación del centro de gravedad debido a la acumulación de hielo en partes altas del buque, con la correspondiente reducción de la estabilidad.

c) Cambio de asiento debido a la distribución de pesos longitudinalmente.

d) Escora constante por la distribución de pesos transversalmente, esta escora está hacia la banda de barlovento.

e) Reducción de la maniobrabilidad y velocidad del buque.

Esta formación de hielo afecta mucho a buques pequeños, tales como pesqueros, por poseer estructuras altas, que le pueden provocar gran pérdida de la estabilidad.

EJERCICIOS

1. Un buque se halla en la siguiente condición: Cpr. = 5,20 m., Cpp. = 6,00 m., D = 5.600 Tm., $\overline{KM}$ = 7,60 m., $\overline{KG}$ = 6,50 m., Tc = 16 Tm.

Se cargó un peso de 160 Tm. en el centro de flotación a una altura de la quilla de 4,15 m. y de la línea central (plano de crujía) 2,90 m. a Br.

Se pide:

a) Los calados finales

b) La altura metacéntrica final

c) Escora

R.: a) Cpr. = 5,30 m., Cpp. = 6,10 m.

b) $\overline{GM}f.$ = 1,165 m.

c) θ = 3°57' a babor

2. El atunero «Aratz» se halla en la siguiente condición: Cpr. = 5,10 m., Cpp. = 5,60 m. (*), $\overline{KG}$ = 5,00 m.. Se achican (descargan) los tanques congeladores N° 1 de Br. y Er. cuyo volumen total es de 88 m^3 de agua salada y se encuentran sus centros de gravedad de la quilla 3,78 m. y 35,87 m. de la perpendicular de popa.

Se pide:

a) Calados finales

b) Altura metacéntrica final

c) Brazo del par de adrizamiento para 40° de escora

(La información de estabilidad del buque «Aratz» está en el Cap. XIV).

(*) Estos calados son los de trazado sobre las marcas. Este buque tiene un espesor de la quilla de 324 mm., habrá que sumarle a los calados de proa y popa para obtener los calados reales.

R.: a) Cpr. = 4,33 m., Cpp. = 5,98 m. (Ver Apéndice 4)
b) $\overline{GM}f$ = 0,34 m. ; c) $\overline{GZ}f_{40^\circ}$ = 0,35 m.

3. Un buque de 400 pies de eslora, desplazamiento = 8.500 L/T y sus calados Cpr. = = 13'06'', Cpp. = 16'04''. Se descarga un peso de 200 L/T cuyo c. de g. se encuentra a 40 pies a proa de la cuaderna maestra y 32 pies sobre la quilla. El Mu para cambiar una pulgada es de 500 Tons. pie/pulg. y Tp = toneladas por pulgada de inmersión = 22,73 Tons., $\overline{KG}$ inicial = 29'03''.

Calcular: a) Calados finales, si se sabe que el F coincide con la ☎ ; b) Distancia vertical que se trasladó el G inicial y sentido.

R.: a) Cpr.f = 12'01.2'', Cpp.f = 16'03.2'' ; b) $\overline{GG}v$ = 0,795 pulgadas hacia la quilla, aumentó su altura metacéntrica.

CAPITULO XIV

CRITERIOS DE ESTABILIDAD. INFORMACION DE ESTABILIDAD

14.1. CRITERIOS DE ESTABILIDAD. GENERALIDADES

Se llaman criterios de estabilidad al conjunto de normas o disposiciones dispuestas por las autoridades marítimas competentes para que los buques puedan navegar, hasta el límite mínimo de estabilidad.

Estos criterios de estabilidad, que estudiaremos, no aseguran que el buque no zozobre ni exime la responsabilidad del capitán; éste tendrá siempre presente la prudencia y buen sentido marinero; estado del mar, manteniendo rumbo y velocidad, de acuerdo a la zona donde navegue.

Antes de salir de viaje se tendrá en cuenta el tipo de carga embarcada, su cantidad, estiba y trincado de la misma.

Existen varios criterios de estabilidad (*) que son adoptados en diferentes países, ellos están basados en la estabilidad estática y dinámica; pero algunos se basan en función del período de balance, fuerza del viento en la obra muerta o solamente en la estabilidad estática.

En este capítulo estudiaremos los criterios de estabilidad más conocidos internacionalmente.

(*) En 1868 fue propuesto por Reed en Inglaterra, por primera vez, la comprobación de la estabilidad mediante la curva de estabilidad transversal de brazos estáticos; en 1887 en ese mismo país Denny propuso una curva, llamada curva inglesa, que ha servido de base para otros criterios; dicha curva tenía los brazos adrizantes a los 30° y 45° de 250 mm. y su ángulo límite de estabilidad de 70°.

En Alemania debido a la pérdida de muchos pesqueros en el invierno de 1902-1903, se realizó un estudio el cual indicó que la curva de estabilidad debía ser analizada en los nuevos proyectos. En 1913 Benjamín, también de Alemania, sugirió una curva basada en la estabilidad dinámica la cual diferia muy poco de la curva inglesa; la curva propuesta fue la siguiente: a) El brazo dinámico mínimo para una escora de 60° sería mayor de 200 mm. radianes; b) El brazo dinámico a los 30° sería solamente de 50 mm. radianes, siempre y cuando el ángulo límite de la curva de estabilidad fuese superior a 60°, en caso contrario el brazo dinámico en el ángulo límite sería como mínimo de 200 mm. radianes. Este mismo ingeniero, Benjamín, en 1928 propuso una curva menos severa que la descrita anteriormente.

En 1935 el ingeniero belga Pierrottet, hizo una propuesta en la cual el brazo máximo de la curva era como mínimo a los 50° para los buques en general y 25° para los ferry-boats;

Los principales criterios de estabilidad son:

a) El criterio de Rahola aplicado para todos los buques que tengan esloras mayores de 100 metros.
b) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques de carga de esloras menores de 100 metros.
c) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques que transporten cargamentos de madera en cubierta, de esloras menores de 100 metros.
d) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques de pasaje de esloras menores de 100 metros.
e) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques pesqueros de esloras mayores de 24 metros.
f) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques pesqueros de esloras inferiores a 30 metros y que no posean información de estabilidad para calcularlo según el ítem e.
g) El criterio de estabilidad de O.M.I. para buques que transporten granos.

Existen otros criterios, también muy conocidos que no los estudiaremos, tales como: criterio Nickum para pesqueros, criterio holandés para costeros menores de 500 T.R.B., criterio japonés, criterio ruso, etc..

14.2. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE RAHOLA PARA TODOS LOS BUQUES QUE TENGAN ESLORAS MAYORES DE 100 METROS

Este criterio es también aplicable a los buques portacontenedores y madereros de cualquier eslora. Veamos las condiciones de estabilidad estática y dinámica que tienen que cumplir los buques con este criterio. A este criterio se le llama de la «Regla de los mínimos», porque fija los mínimos brazos de adrizamiento de las curvas de brazos estáticos y dinámicos.

a) Los brazos de adrizamiento de la curva de estabilidad estática serán, como mínimo, los siguientes:

$\theta = 20°$ ..... $\overline{GZ} = 140$ mm.
$\theta = 30°$ ..... $\overline{GZ} = 200$ mm.
$\theta = 40°$ ..... $\overline{GZ} = 200$ mm.

θ = ángulo de escora
$\overline{GZ}$ = brazo de adrizamiento

además el trabajo dinámico hasta ese ángulo debía ser mayor que los trabajos escorantes debido al viento, a las olas, a la fuerza centrífuga y al movimiento del personal en el buque.

En 1939, el ingeniero finlandés Jaakko Rahola, luego de un estudio en muchos buques propuso la llamada «Regla de los mínimos», la cual ha sido adoptada por la mayoría de los países.

En marzo de 1958 entró en vigor una Organización, dependiente de las Naciones Unidas, llamada Organización Consultiva Marítima Intergubernamental (O.C.M.I.) la cual pasó a llamarse a partir del 22 de mayo de 1982 Organización Marítima Internacional (O.M.I.). O.M.I. tiene como propósitos alentar la adopción general de normas en las cuestiones relativas a la seguridad marítima, la eficiencia de la navegación, la prevención y control de la contaminación de los mares causados por los buques y ocuparse de las cuestiones jurídicas relacionadas con estas esferas; la estabilidad de los buques es parte de la seguridad marítima, por ello O.M.I. o específicamente su Comité de Seguridad Marítima, a partir de su creación se ha abocado al estudio y recomendación de normas referentes a la estabilidad, que trataremos de explicarlas en este capítulo.

b) El máximo brazo de adrizamiento de la curva de estabilidad estática estará comprendido entre 30° y 40° de escora.

c) El brazo de la curva de la estabilidad dinámica será, como mínimo, de 80 mm. radianes a los 40° de escora o hasta el ángulo de inundación (*) si, éste es menor de 40°.

14.2.1. Representación gráfica y su explicación

En la Fig. XIV-1 están representados los mínimos de Rahola, de los brazos estáticos y dinámicos; los cuales se pueden apreciar, quedan por debajo de las res-

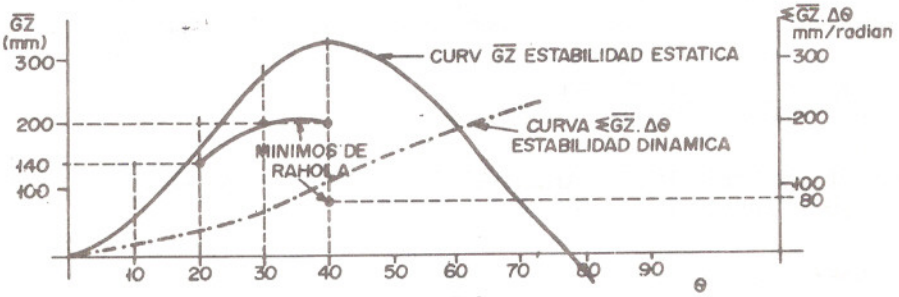


Fig. XIV - 1

pectivas curvas de estabilidad estática y dinámica, entonces este buque cumple con el criterio y por lo tanto está en condiciones de navegar.

En la Fig. XIV-2 se representan tres curvas de estabilidad estática y sus respectivas de la estabilidad dinámica, en tres condiciones de carga que pueden ser de un mismo buque, A, B, C.

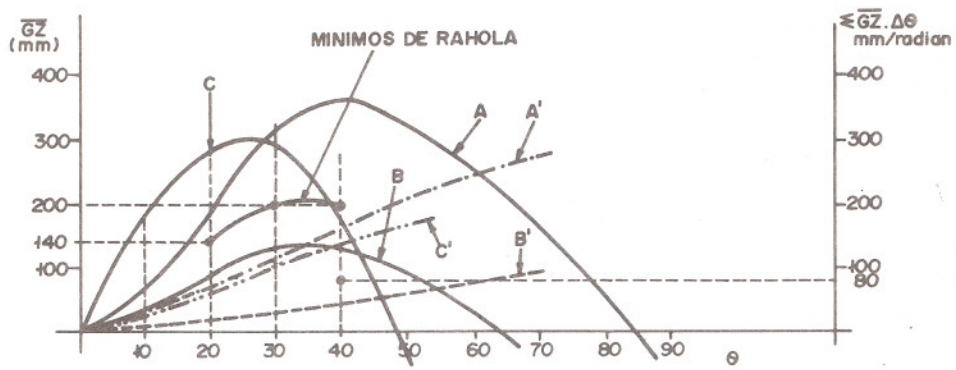


Fig. XIV - 2

(*) θ_f = ángulo de inundación, es la escora en la cual se sumerge alguna de las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no pueden cerrarse de modo estanco.

Las curvas A y A', representan la estabilidad estática y dinámica respectivamente de un buque, cuya condición de carga cumple con todos los ítems del criterio. El buque se dice que cumple con el criterio.

Las curvas B y B', las cuales representan la estabilidad estática y dinámica del buque; en esta condición de carga, no cumple con los ítems a ni c.

El buque no cumple con el criterio.

Las curvas C y C' representan la estabilidad estática y dinámica, respectivamente, en esta condición de carga cumple únicamente con el ítem c, por lo tanto, el buque no cumple con el criterio.

NOTA: La aplicación del criterio de Rahola, para buques que tengan una escora permanente, se debe considerar las curvas de estabilidad estática y dinámica corregidas por escora, además de las correcciones por superficies libres. La curva de brazos finales corregidos será:

$\overline{GZ}c = \overline{KN} - \overline{KG}c.\text{sen}\ \theta - \overline{GG}_t.\cos\ \theta$

14.3. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES DE CARGA, DE ESLORAS MENORES DE 100 METROS

Las condiciones mínimas que tienen que cumplir los buques de carga de eslora menores de 100 metros, son las siguientes:

a) La altura metacéntrica inicial ($\overline{GM}o$) no será menor de 150 mm.

b) El valor del brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$), tendrá como mínimo 200 mm. a un ángulo de escora igual o mayor de 30°.

c) El valor del máximo brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) deberá producirse a un ángulo de escora mayor de 30°, pero nunca menor de 25°.

d) Los brazos de la curva de estabilidad dinámica no serán menores que 55 mm. radianes para 30° de escora y 90 mm. radianes para 40° de escora o hasta el ángulo de inundación (θ_f) si éste es menor de 40°.

Además, el área bajo la curva de brazos adrizantes $\overline{GZ}$ entre los ángulos de escora de 30° y 40° o entre 30° y θ_f, si este ángulo es menor de 40°, no será menor de 30 mm. radianes.

14.3.1. Representación gráfica y su explicación

La Fig. XIV-3 representa las curvas de brazos de adrizamiento de tres condiciones de carga, A, B y C de un buque y sus respectivas curvas de la estabilidad dinámica A', B' y C'.

La altura metacéntrica $\overline{GM}o$ se supone que es mayor de 150 mm. en las tres condiciones de carga A, B y C. Por lo tanto cumple con la condición a, del criterio. Esta altura metacéntrica está corregida por superficies libres, según se indica en el Apéndice 5, de los tanques no exceptuados que posean líquidos con superficies libres.

Las curvas de brazos de adrizamiento están corregidas por superficies libres de los tanques no exceptuados.

La curva A no cumple con la condición b, porque el mayor brazo de adrizamiento está a un ángulo de escora menor de 30°. Entonces, el buque al no cumplir con una condición, no cumple con el criterio.

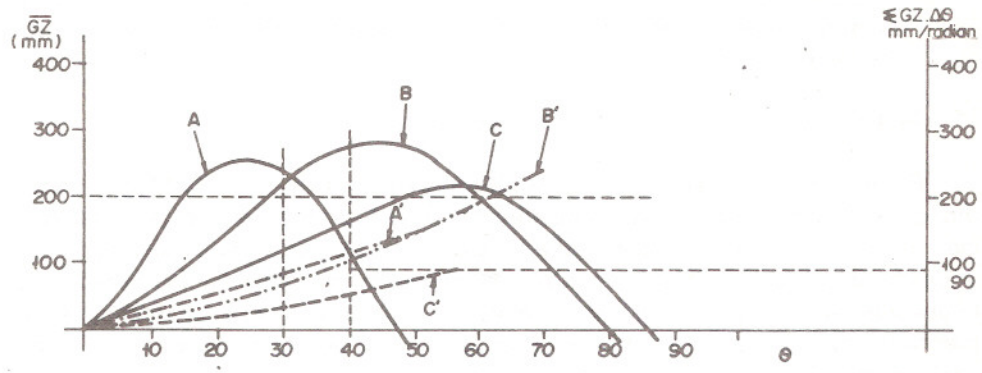


Fig. XIV - 3

Las curvas B y B', cumplen con todas las condiciones estáticas y dinámicas. En estas condiciones de carga el buque cumple con el criterio.

La condición de carga C cumple con las condiciones estáticas, pero no es suficiente su estabilidad dinámica representada por la curva C' a la escora de 40°. La superficie encerrada bajo la curva C es inferior a 90 mm. radianes y el área comprendida entre 30° y 40° de escora, es menor de 30 mm. radianes. En esta condición de carga, tampoco cumple con el criterio.

14.4. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES QUE TRANSPORTEN CARGAMENTOS DE MADERA EN CUBIERTA, DE ESLORAS MENORES DE 100 METROS

Los buques de esloras menores de 100 metros y que transporten cubertadas o trojas de madera sobre cubierta, tienen un criterio especial para ellos, que difiere del criterio de estabilidad anterior, para buques de carga de la misma eslora, debido a que la madera tiene una permeabilidad muy grande y se debe suponer que el peso de la carga de madera estibada sobre cubierta se incrementa en un 10% al fin del viaje por la absorción del agua.

La estiba de la madera en cubierta (madera liada, en troncos o rollos de madera papelera), debe efectuarse de acuerdo a las disposiciones del «Código de Prácticas de Seguridad para Buques que Transporten Cubertadas de Madera».

Las cubertadas se harán de tal manera que sea una estiba sólida y compacta, extendiéndose longitudinalmente entre las superestructuras y transversalmente en toda la manga del buque, bien trincado, que no permita corrimiento de la carga con la escora del buque y rotura de las trincas, con la consiguiente pérdida de la carga.

El criterio para estos buques que transporten madera en cubertadas es el siguiente:

a) La altura metacéntrica inicial no será menor de 100 mm.
b) El valor máximo del brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) será como mínimo de 250 milímetros.
c) El área bajo la curva de brazos de adrizamiento (curva $\overline{GZ}$) no será menor de 80 mm. radianes hasta un ángulo de escora de 40° o hasta el ángulo de inundación si éste es menor de 40°.

14.4.1. Representación gráfica y su explicación

En este criterio se entiende que la altura metacéntrica inicial ($\overline{GM}o$) es corregida y de igual manera los brazos de adrizamiento ($\overline{GZ}$), por los efectos de superficies libres de los líquidos, que pudieran existir en tanques, por la absorción del agua de la carga en cubierta, y/o por la formación de hielo en las superficies expuestas a la intemperie. Las correcciones por superficies libres, se efectúan solamente las de los tanques no exceptuados, tanto para la altura metacéntrica como para los brazos de adrizamiento. (Ver Apéndice 5).

Durante el viaje, la altura metacéntrica permanecerá positiva, en la peor condición de servicio; después de haber corregido la misma por: efectos de superficies libres, incremento del peso en un 10% de la carga estibada en cubierta, debido a la absorción de agua y el peso del hielo si se prevee formación.

En la Fig. XIV-4 se presentan tres curvas de brazos de adrizamiento ($\overline{GZ}$), la A, B y C, y sus respectivas curvas de estabilidad dinámica A', B', y C'; para su trazado se supone un $\overline{GM}o$ mayor de 100 mm., por lo tanto satisfacen el ítem a.

La curva A no cumple con las condiciones b ni c, debido a que su máximo brazo de adrizamiento es menor que 250 mm. y el área encerrada bajo la curva hasta los 40° es menor que 80 mm. radianes, respectivamente; por lo tanto el buque no cumple con el criterio.

La curva B, a pesar que cumple con la condición b, no sucede lo mismo con la condición c, porque el área bajo la curva no alcanza a un brazo dinámico a los 40° de escora en la curva dinámica B' de 80 mm. radianes. El buque al no satisfacer, solamente una condición, no cumple con el criterio.

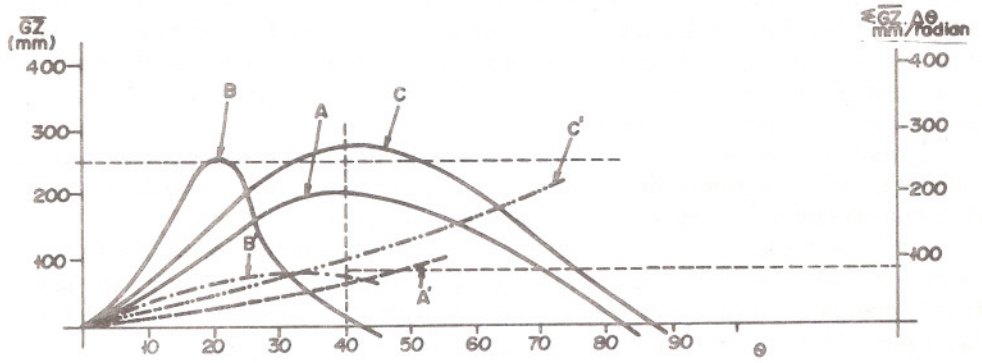


Fig. XIV - 4

Las curvas C y C' cumplen con las tres condiciones del criterio, por lo tanto el buque satisface las condiciones mínimas de estabilidad.

14.5. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES DE PASAJE DE ESLORAS MENORES DE 100 METROS

El criterio de estabilidad para buques de pasaje, de esloras menores de 100 metros, debe cumplir con las condiciones mínimas siguientes:

a) La altura metacéntrica inicial ($\overline{GM}o$) no será menor de 150 mm.

b) El valor del brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) tendrá como mínimo 200 mm., a un ángulo de escora igual o mayor de 30°.

c) El valor del máximo brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) deberá producirse a un ángulo de escora mayor de 30°, pero no menor de 25°.

d) Los brazos de la curva de estabilidad dinámica no serán menores que 55 mm. radianes para 30° de escora y 90 mm. radianes para 40° de escora o hasta el ángulo de inundación (θ_f), si éste es menor de 40°.

Además el área bajo la curva de brazos de adrizamiento ($\overline{GZ}$) entre los ángulos de escora de 30° y 40° o entre 30° y θ_f, si este ángulo es menor de 40°, no será menor de 30 mm. radianes.

e) El ángulo de escora por acumulación de pasajeros a una banda, no excederá de 10°.

f) El ángulo de escora provocado por la maniobra de giro no excederá de 10°, si se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$Mr = 0{,}02\frac{Vb^2}{E_f}D\left(\overline{KG} - \frac{Cm.}{2}\right) \; ; \; Mr = D \times \overline{GZ} = D \times \overline{GM}, \text{ sen } \theta$$

$$\text{Sen } \theta = \frac{0{,}02 \cdot Vb^2}{Ef \cdot \overline{GM}}\left(\overline{KG} - \frac{Cm}{2}\right)$$

Siendo:

Mr = momento escorante en tonelámetros

Vb = velocidad del buque, en m/seg.

E f = eslora del buque en la flotación, en metros

D = desplazamiento en Tm.

Cm. = calado medio, en metros

$\overline{KG}$ = altura del centro de gravedad sobre la quilla, en metros.

Como se puede apreciar los ítems a, b, c y d inclusive, de este criterio son idénticos a los aplicados para los buques de carga con esloras menores de 100 metros. Las condiciones e y f, son adicionales.

14.5.1. Explicación del criterio

Como los ítems a, b, c y d de este criterio, son los mismos que ya se explicaron para el criterio de buques de carga de esloras menores de 100 metros, se explicarán

a continuación los ítems e y f.

e) Esta condición para que sea cumplida, el buque no se escorará más de 10° hacia un costado, cuando se produzca la condición más desfavorable que los pasajeros pudieran crear en la práctica.

Para ello se considerará que cada pasajero pesa 75 kilos y su centro de gravedad, cuando están parados está a 1 metro sobre la cubierta y si están sentados, su centro de gravedad estará a 0,30 m. por encima del asiento para pasajeros.

Otra consideración es, que no se tomarán más de 4 personas por metro cuadrado. Además, se supondrá a los pasajeros ubicados en la peor condición para la pérdida de la estabilidad, la cual será en la cubierta de pasajeros más alta o superior.

EJEMPLO N° 63. Un buque de pasaje de 2500 Tm. de desplazamiento, M = 15 m., E = 90 m., $\overline{GM}o$ = 0,40 (esta altura metacéntrica está corregida por todas las correcciones que la pueden disminuir, superficies libres, pesos de los pasajeros en la cubierta superior, etc.), tiene 150 pasajeros a bordo. Se desea saber si este buque cumple con la condición e, del criterio de estabilidad.

Solución:

M = 15 m., d t = M/2 = 15/2 = 7,5 m. distancia más desfavorable que se pueden trasladar los pasajeros.

p = peso de todos los pasajeros = 75 x 150 = 11.250 Kg. = 11,25 Tm.

$$\text{Tg. } \theta = \frac{p \times d\,t}{D \times \overline{GM}o} = \frac{11{,}25 \times 7{,}5}{2.500 \times 0{,}40} = \frac{84{,}375}{1000} = 0{,}084375$$

θ = 4°49' de escora

Este buque es estable porque el ángulo de escora θ que se puede producir, al correrse todos los pasajeros hacia un costado es menor de 10°.

f) Esta condición es referente a la escora que se puede producir al virar o realizar una evolución el buque a su velocidad de servicio, siempre y cuando sea mayor de 10°.

EJEMPLO N° 64. Un buque de pasaje cuyos calados son: Cpr = 3,60 m., Cpp = = 4,20 m., E = 70 m., velocidad = 15 nudos, $\overline{GM}c$ = 0,34 m., $\overline{KM}$ = 6,10 m.

Se quiere saber qué escora le producirá si vira hacia cualquier costado (babor o estribor) metiendo todo el timón, cuando el buque navega a su velocidad de servicio y si cumple con la condición f, del criterio.

Aplicando la fórmula que nos da la escora, la cual se encuentra en la condición f, tenemos:

$$\text{sen } \theta = \frac{0{,}02\ Vb^2 \left(\overline{KG} - \frac{Cm}{2}\right)}{E \times \overline{GM}}$$

$$Cm = \frac{Cpr + Cpp}{2} = \frac{3{,}60 + 4{,}20}{2} = 3{,}90 \text{ m.}$$

$\overline{KGc} = \overline{KM} - \overline{GMc} = 6{,}10 - 0{,}34 = 5{,}76$ m.
Se utiliza el $\overline{KG}$ y $\overline{GM}$ corregidos por líquidos
15 nudos = 15 x 0,5144 = 7,72 m/seg.

$$\text{sen } \theta = \frac{0{,}02 \times (7{,}72)^2 \left(5{,}76 - \frac{3{,}90}{2}\right)}{70 \times 0{,}34} = \frac{0{,}02 \times 59{,}55\ (5{,}76 - 1{,}95)}{23{,}8}$$

$$\text{sen } \theta = \frac{0{,}02 \times 59{,}55 \times 3{,}81}{23{,}8} = 0{,}19066$$

θ = 10°59'28'', casi 11 grados de escora hacia la banda contraria a la que se coloca la pala del timón.

No cumple con la condición f del criterio de estabilidad, porque el ángulo de escora que se produce al meter todo el timón hacia una banda, es mayor de 10 grados.

14.6. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS MAYORES DE 24 METROS

Después de muchos estudios sobre buques pesqueros se pudo llegar a un acuerdo internacional referente a varias disposiciones en las cuales estaban exceptuados estos buques. Entre ellas estaba la estabilidad, que debido a la diversidad de tipos de buques pesqueros era difícil establecer un criterio de estabilidad (*); en el «Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros», de 1977 en su Cap. III se refiere a la «estabilidad y estado correspondiente

(*) En 1928 en Inglaterra Johow-Foerster determinó el valor del $\overline{GM}$ para buques pequeños y pesqueros entre 0.70 y 0,80 m., a pesar del resultado del estudio efectuado en Alemania en 1902 y 1903 de los buques pesqueros que naufragaron, en los cuales el $\overline{GM}$ oscilaba entre 0,70 y 0,90 m.

Charpentier en su criterio para buques de carga pequeños y pesqueros, propuso que el $\overline{GM}$ fuera entre 0,70 y 0,80 m. y su curva de estabilidad debía de tener su máximo brazo de adrizamiento próximo a los 40° y los brazos a los 20° y 30° como mínimo 300 a 370 mm., respectivamente.

En 1944 Roorda, expresó el valor del GM en función de la manga M de los pesqueros, proponiendo los siguientes valores:

Al zarpar ..... $\overline{GM}$ = 0,10.M
Al llegar ..... $\overline{GM}$ = 0,06.M

En 1953 Nickum, propuso el siguiente criterio para pesqueros que se encuentran en servicio:

1°; En su condición de servicio más crítica, deben cumplir lo siguiente:
a) $\overline{GM} \geq$ 0,10.M o 2 pies = 0,61 m.

de navegabilidad». Este Convenio fue adoptado por O.M.I. en la «Conferencia Internacional sobre Seguridad de los Buques Pesqueros» celebrada en Torremolinos, España, la cual finalizó el 2 de abril de 1977.

Las condiciones mínimas que deben satisfacer los pesqueros son las siguientes:

a) La altura metacéntrica inicial ($\overline{GM}o$) no será inferior a 350 mm. en los buques de una cubierta. En los buques con superestructura corrida o completa y en los de eslora igual o mayor de 70 metros, se podrá reducir la altura metacéntrica hasta 150 mm. de conformidad con la autoridad competente.

b) El brazo de adrizamiento ($\overline{GZ}$) será como mínimo de 200 mm. para un ángulo de escora igual o superior a 30°.

c) El brazo de adrizamiento máximo ($\overline{GZ}$máx.) será a un ángulo de escora preferiblemente mayor de 30° pero nunca menor de 25°.

d) El área situada bajo la curva de brazos de adrizamiento ($\overline{GZ}$) no será inferior a 55 mm. radianes hasta un ángulo de escora de 30° ni inferior a 90 mm. radianes hasta 40° o hasta el ángulo de inundación, θ_f, si éste es de menos de 40° . Además el área situada bajo la curva de brazos de adrizamiento entre los ángulos de escora de 30° y 40° o entre los ángulos de 30° y θ_f, si éste es menor de 40°, no será inferior a 30 mm. radianes.

e) Cuando el pesquero opere en zonas marítimas que tengan probabilidades de formación de hielo, se considerarán los siguientes valores en el cálculo de la estabi-

$$b) \frac{f}{M} + \frac{S}{E.M} \geq 0{,}15$$

Siendo:

f = altura del francobordo, medida hasta el canto superior de la cubierta de francobordo en el centro del buque;

S = superficie de la obra muerta proyectada sobre el plano diametral hasta la cubierta de francobordo.

2°) El cumplimiento del ítem 1°, se debe comprobar en las condiciones de carga más críticas del buque, mediante la fórmula del $\overline{GM}$ en función del período doble de balance y de la manga M.

$$\overline{GM} = \left[\frac{K.M}{Td}\right]^2$$

Siendo:

K = 0,40 si las unidades se expresan en pies o 0,80 si están en metros.

Td = período doble de balance en segundos.

En 1967 el R.I.N.A., propuso el criterio expuesto en el apartado 3-3-1.

En 1968 O.M.I. en la resolución A. 168 (enmendada en 1973) sobre «Recomendación sobre la estabilidad al estado intacto de buques pesqueros», aprueba una serie de normas y recomendaciones para el cálculo de la estabilidad; el criterio aprobado fue el establecido en el «Código de seguridad para pescadores y buques pesqueros», Parte B, publicado por FAO-OIT-OMI en 1974.

En 1977 O.M.I. en el «Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros», propuso los criterios dados en 1968 y además recomendaciones para los cálculos de estabilidad.

lidad, para compensar esta pérdida de estabilidad debido a que los pesos por la acumulación de hielo, generalmente, están por encima del centro de gravedad del buque (pesos altos):

i) 30 kilogramos por metro cuadrado de cubiertas a la intemperie y pasarelas;

ii) 7,5 kilogramos por metro cuadrado del área lateral proyectada, de cada costado del buque, que quede por encima del plano de flotación;

iii) 5 por ciento se incrementará el área lateral total proyectada de las superficies continuas por las superficies discontinuas proyectadas de las barandillas, arboladura, jarcia de los buques que no tienen velas, y de otros pequeños objetos.

iv) 10 por ciento se incrementará los momentos estáticos provocados por los pesos de la acumulación de hielo en el área descrita en el ítem iii.

14.6.1. Zonas de formación de hielo

Las zonas que se considerarán con posibilidades de formación de hielo son las siguientes (Ver mapa anexo de las Zonas de Formación de Hielo).

a) Hemisferio Norte:

i) La zona ubicada al Norte de la latitud 65°30'N, entre la longitud 28°W y la costa occidental de Islandia; al Norte de la costa septentrional de Islandia; al Norte de la loxodromia trazada desde la latitud 66°N, longitud 15°W, hasta la latitud 73°30'N, longitud 15°E y 35°E y al Este de la longitud 35°E, así como al Norte de la latitud 56°N en el Mar Báltico;

ii) La zona situada al Norte de la latitud 56°N limitada al Oeste por la Costa de América del Norte y al Este por la loxodrómica trazada desde la latitud 43°N., longitud 48°W, hasta la latitud 43°N, longitud 28°W, y, desde aquí, a lo largo de la longitud 28°W;

iii) Todas las zonas marítimas situadas al Norte del Continente norteamericano y al Oeste de las zonas definidas en i e ii del presente apartado;

iv) Los mares de Bering y Okhotsk y el Estrecho de Tartaria durante la temporada de formación de hielo;

b) Hemisferio Sur:

En los mares al Sur de la latitud 60°S.

Para los buques pesqueros que faenen en las zonas anteriormente mencionadas y en cuya época del año se prevee formación de hielo, se aplicará un margen de compensación a los valores dados en la condición e del criterio.

El margen de compensación será el siguiente:

En el Hemisferio Norte ítems i, iii e iv y en el Hemisferio Sur se incrementará entre 0,5 y 2 la acumulación de hielo prescrito por el criterio.

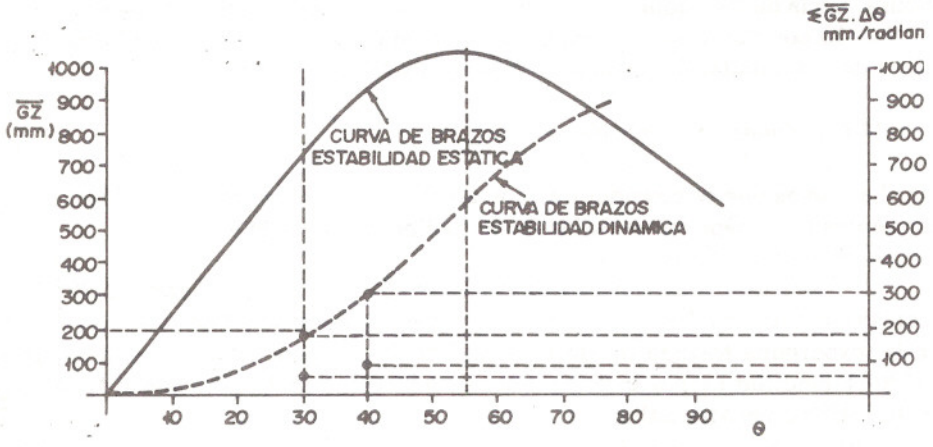
En el Hemisferio Norte ítem ii, se incrementará la acumulación de hielo que exceda del doble prescrito por el criterio.

Los buques pesqueros destinados a faenar en las zonas con posibilidades de formación de hielo irán equipados con medios adecuados de deshielo ya sea por dispositivos eléctrico o neumático y/o herramientas especiales para quitar el hielo.

14.6.2. Explicación del criterio

Veamos mediante un ejemplo la explicación del criterio:

EJEMPLO N° 65. Un buque pesquero se encuentra en las siguientes condiciones: D = 1.275 Tm., $\overline{KG}$ = 3,79 m., i x δ = 78 Tm.m., $\overline{KM}$ = 4,84 y se han calculado las curvas de brazos de estabilidad estática y dinámica siguientes:



Se pide analizar: si el buque cumple con el criterio de estabilidad en las condiciones a, b, c y d, considerando que es un pesquero de una sola cubierta.

Solución:

Condición a) Altura metacéntrica inicial

$$\overline{GMo} = \overline{KM} - KGc = 4{,}84 - \left(3{,}79 + \frac{78}{1275}\right) = 4{,}84 - 3{,}85 = 0.99 \text{ m.}$$

$\overline{GMo}$ = 990 mm. es mayor que 350 mm. entonces cumple con la condición a.

Condición b) $\overline{GZ}$ para 30° = 705 mm. es mayor que 200 mm., luego cumple con esta condición b.

Condición c) $\overline{GZ}$ máximo está a 55 grados por lo tanto es mayor de 30°, entonces cumple con la condición c.

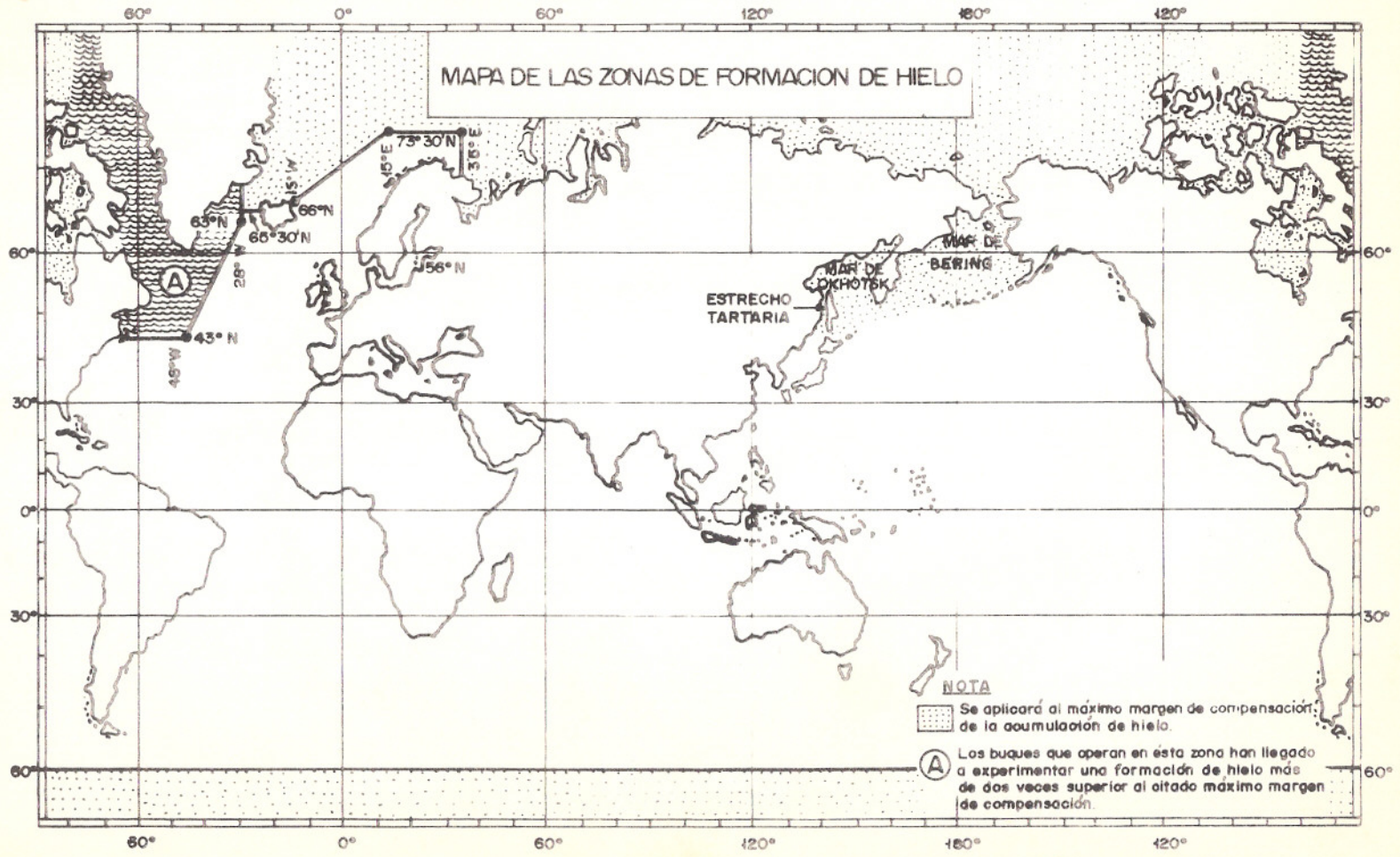
Condición d) En la curva de brazos dinámicos se puede apreciar:

$\overline{GZ}$ a 30 grados = 185 mm. radianes es mayor que 55 mm. radianes

$\overline{GZ}$ a 40 grados = 327 mm. radianes es mayor que 90 mm. radianes.

Diferencia entre $\overline{GZ}$ 40° y $\overline{GZ}$ 30° = 142 mm. radianes es mayor que 30 mm. radianes, luego cumple con la condición d.

Este buque cumple con el criterio de estabilidad para pesqueros.


MAPA DE LAS ZONAS DE FORMACION DE HIELO
60°
0°
60°
120°
180°
120°
73°30'N
15°E
36°E
15°W
66°N
63°N
65°30'N
28°
A
56°N
43°N
45°W
ESTRECHO TARTARIA
MAR DE OKHOTSK
MAR DE BERING
30°
0°
30°
60°
NOTA
Se aplicará al máximo margen de compensación de la acumulación de hielo.
A Los buques que operan en esta zona han llegado a experimentar una formación de hielo más de dos veces superior al citado máximo margen de compensación.

EJEMPLO Nº 66. El buque del ejemplo anterior, navega en invierno en el Atlántico Norte en zona con posibilidades de formación de hielo en las condiciones anteriormente dichas. Se desea saber si este buque cumple con el criterio de estabilidad considerando la formación de hielo.

Datos: Area cubierta principal = 400 m 2; dv = distancia a la quilla = 4,8 m.
Area cubierta del puente = 120 m 2; dv = 7,8 m.
Area proyectada del casco obra muerta = 320 m 2; dv = 5 m.

a) Cálculo del peso del hielo

p_1 = peso del hielo en la cubierta principal = 400 x 30 = 12000 Kg. = 12 Tm.

p_2 = peso del hielo en la cubierta del puente = 120 x 30 = 3600 Kg. = = 3,6 Tm.

p_3 = peso del hielo en el área proyectada del casco = 320 x 7,5 = = 2.400 Kg. = 2,4 Tm.

p_4 = peso del hielo en la jarcia, barandillas = 5% de $p_3 = \frac{5 \times 2,4}{100} =$ = 0,12 Tm.

P = Peso total del hielo = 12 + 3,6 + 2,4 + 0,12 = 18,12 Tm.

b) Cálculo del nuevo desplazamiento D_f y $\overline{KG}_f$

Pesos	$\overline{Kg}$.	Momentos verticales
Di = 1275 Tm.	3,79 m.	4832,25 Tm.m.
p_1 = 12	4,80	57,60
p_2 = 3,6	7,80	28,08
p_3 = 2,4	5,00	12,00
p_4 = 0,12	kg	1,20 (10% momento p_3)
D_f = 1293,12 Tm.	$\overline{KG}_f$ = 3,81 m.	4931,13 Tm.m.

c) Corrección por superficies libres y el $\overline{KG}_{fc}$ (altura del centro de gravedad corregido por superficie libre)

$$\overline{GG} = \frac{i \times \delta}{D_f} = \frac{78}{1293,12} = 0,06 \text{ m.}$$

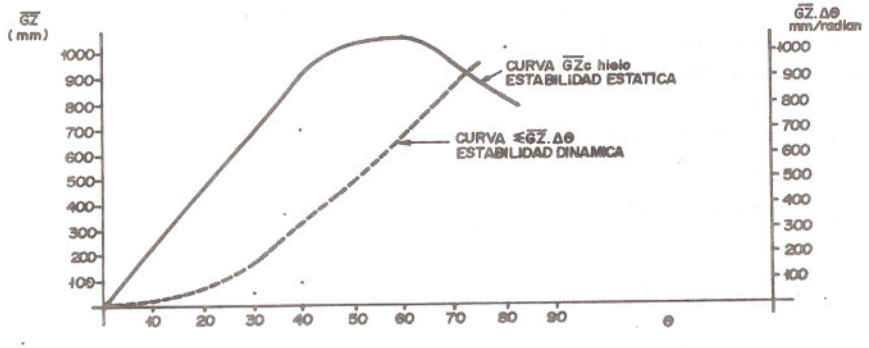
$$\overline{KG}_{fc} = \overline{KG}_f + \overline{GG} = 3,81 + 0,06 = 3,87 \text{ m.}$$

d) Trazado de la curva de estabilidad estática y dinámica

La elevación del G del buque por el peso del hielo acumulado es el siguiente: $\overline{GG}$hielo = $\overline{KG}_{fc} - \overline{KG}c = 3,87 - 3,85 = 0.02$ m. = $\overline{GG}h$

La curva de estabilidad estática $\overline{GZ}$ inicial se va a ver disminuida en un valor de $\overline{GG}h.\text{sen } \theta$

θ °	10	20	30	40	50	60	70	80
$\overline{GZ}$	232	483	705	925	1051	1066	982	808
$\overline{GG}h.\text{sen}\ \theta$	3	7	10	13	15	17	19	20
$\overline{GZ}c$ hielo	229	476	695	912	1036	1049	963	788



Como se puede apreciar la nueva curva de brazos estáticos y dinámicos considerando la acumulación de hielo, continúa cumpliendo con el criterio para pesqueros.

14.7. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS INFERIORES A 30 METROS Y QUE NO POSEAN INFORMACION DE ESTABILIDAD

En todas las situaciones de carga para los buques pesqueros con cubierta, de esloras inferiores a 30 metros y no posean información de estabilidad, se puede utilizar, para hallar la altura metacéntrica mínima, la fórmula aproximada siguiente:

$$\overline{GM}\,\text{mín.} = 0{,}53 + 2\,M\left[0{,}075 - 0{,}37\left(\frac{f}{M}\right) + 0{,}82\left(\frac{f}{M}\right)^2 - 0{,}014\left(\frac{M}{P}\right) - 0{,}032\left(\frac{e_s}{E}\right)\right]$$

Siendo:

$\overline{GM}$ mín. = Altura metacéntrica mínima en metros

E = Eslora del buque en la flotación de máxima carga en metros

e_s = Longitud real de la superestructura cerrada que se extienda de banda a

banda en metros
M = Manga máxima en la flotación en metros. (En máxima carga).
P = Puntal de construcción en metros
f = Francobordo mínimo en metros
Esta fórmula se aplica a los buques que tengan:

i) $\frac{f}{M}$ entre 0,02 y 0,2

ii) $\frac{e_s}{E}$ inferior a 0,60

iii) $\frac{M}{P}$ entre 1,75 y 2,15

iv) El arrufo debe ser superior al establecido en el «Convenio Internacional de Líneas de Carga, 1966».

v) La altura de la superestructura incluida en el cálculo no será inferior a 1,80 metros.

Esta fórmula no debe reemplazar los criterios básicos de O.M.I., sino se debe utilizar, solamente para juzgar la estabilidad de un determinado buque, en los casos que no hayan curvas hidrostáticas ni curvas cruzadas ($\overline{KN}$).

En la Fig. XIV-5, podemos apreciar el Nomograma del «criterio simplificado de estabilidad» para pesqueros de esloras inferiores a 30 metros.

Veamos a continuación un ejemplo que lo resolveremos mediante la fórmula del $\overline{GM}$ mín. y por el nomograma.

EJEMPLO N° 67. Un buque pesquero tiene las siguientes dimensiones: E = 20 m., M = 6,4 m., P = 3,45 m., C máx. = 2,80 m., longitud de superestructura (e_s) = 5 m. Se desea saber el $\overline{GM}$ mínimo que puede tener este buque.

$$\overline{GM}\text{ mín.} = 0{,}53 + 2M\left[0{,}075 - 0{,}37\left(\frac{f}{M}\right) + 0{,}82\left(\frac{f}{M}\right)^2 - 0{,}014\left(\frac{M}{P}\right)\right.$$

$$\left. - 0{,}032\left(\frac{e_s}{E}\right)\right]\text{; de donde : } e_s = P - C\text{ máx.} = 3{,}45 - 2{,}80 = 0{,}65\text{ m.}$$

$$\overline{GM}\text{ mín.} = 0{,}53 + 2 \times 6{,}4\left[0{,}075 - 0{,}37\left(\frac{0{,}65}{6{,}4}\right) + 0{,}82\left(\frac{0{,}65}{6{,}40}\right)^2 - \right.$$

$$\left. - 0{,}014\left(\frac{6{,}4}{3{,}45}\right) - 0{,}032\left(\frac{5}{20}\right)\right]$$

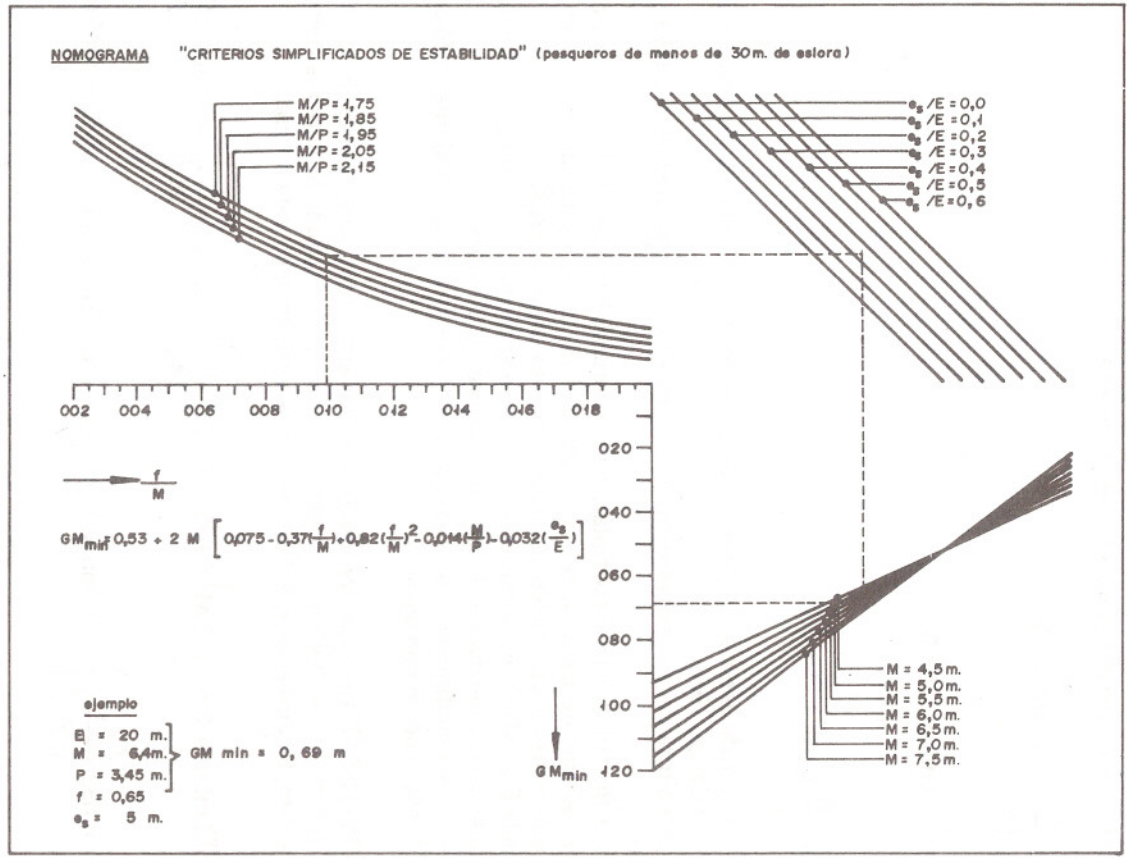

NOMOGRAMA "CRITERIOS SIMPLIFICADOS DE ESTABILIDAD" (pesqueros de menos de 30m. de eslora)
M/P = 1,75
M/P = 1,85
M/P = 1,95
M/P = 2,05
M/P = 2,15
e_s /E = 0,0
e_s /E = 0,1
e_s /E = 0,2
e_s /E = 0,3
e_s /E = 0,4
e_s /E = 0,5
e_s /E = 0,6
002 004 006 008 010 012 014 016 018
f/M
$GM_{min} = 0{,}53 + 2M\left[0{,}075 - 0{,}37(\frac{f}{M}) + 0{,}82(\frac{f}{M})^2 - 0{,}044(\frac{M}{P}) - 0{,}032(\frac{e_s}{E})\right]$
020
040
060
080
100
120
GM_{min}
M = 4,5m.
M = 5,0m.
M = 5,5m.
M = 6,0m.
M = 6,5m.
M = 7,0m.
M = 7,5m.
ejemplo
B = 20 m.
M = 6,4m.
P = 3,45 m.
f = 0,65
e_s = 5 m.
GM min = 0, 69 m

Fig. XIV - 5

$$\overline{GM}\,\text{mín.} = 0{,}53 + 12{,}8\left[0{,}075 - 0{,}37(0{,}10) + 0{,}82(0{,}10)^2 - 0{,}014(1{,}85) - 0{,}032(0{,}25)\right]$$

$$\overline{GM}\,\text{mín.} = 0{,}53 + 12{,}8\left[0{,}075 - 0{,}037 + 0{,}0082 - 0{,}0259 - 0{,}008)\right]$$

$$\overline{GM}\,\text{mín.} = 0{,}53 + 12{,}8(0{,}0123) = 0{,}53 + 0{,}15744 = 0{,}687\,\text{m.}$$

NOTA: Este $\overline{GM}$ mín. debe ser comparado con el $\overline{GM}$ real del buque en cualquier condición de carga; utilizando el cálculo de la altura metacéntrica por medio del período de balance (Epígrafe 7-4-1) o por medio de la experiencia de estabilidad. (Epígrafe 12-3-1).

El cálculo del $\overline{GM}$ mín. por medio del gráfico de la página anterior, se puede apreciar que da el mismo valor, siguiendo la línea punteada para el ejemplo anterior.

14.8. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES QUE TRANSPORTAN GRANOS

Debido a la peligrosidad del transporte de cargas a granel, tales como granos de cebada, avena, trigo, maíz, etc., la Conferencia Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar, 1974 establece en el Capítulo VI, para transporte de granos el siguiente criterio:

a) La altura metacéntrica inicial, después de corregida por superficies libres de líquidos no será inferior a 300 mm.

b) El ángulo máximo de escora que tomará el buque en caso de corrimiento de grano, será de 12°.

c) En el diagrama de estabilidad estática, el área neta entre la curva de brazos escorantes y brazos adrizantes, hasta el ángulo de escora de diferencia máxima entre las ordenadas de ambas curvas o un ángulo de 40° o el ángulo de inundación (θ_f) si éste es menor de 40°, no será inferior en ninguna condición de carga a 75 mm. radianes.

A este criterio no se darán explicaciones de las condiciones antes mencionadas debido a que se sale del programa del texto.

14.9. INFORMACION DE ESTABILIDAD. GENERALIDADES

Según el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974 y el Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros, 1977, se establece que todo buque después de construido deberá ser sometido a ciertas pruebas para confeccionar los cuadernillos de estabili-

dad o informaciones de estabilidad que le permitan a los Capitanes y Oficiales conocer con facilidad y certeza la estabilidad de sus buques en distintas condiciones de servicio.

En la información de estabilidad estará incluido lo siguiente:

14.9.1. Cálculo completo de la estabilidad en las condiciones operacionales de carga típica, según el tipo de buque:

a) Buque de pasaje

i) El buque sale de puerto con carga completa, el total de combustible y provisiones y el máximo número de pasajeros con su equipaje.

ii) El buque llega a puerto en las mismas condiciones que las de salida, con sólo el 10% de combustible y provisiones.

iii) El buque sale de puerto sin carga pero con el total de combustible y provisiones y el máximo número de pasajeros con su equipaje.

iv) El buque llega a puerto en las mismas condiciones que en iii, pero con sólo el 10% de combustible y provisiones.

b) Buque de carga

i) El buque sale de puerto con carga completa distribuida de forma homogénea en todos los espacios de carga y con el total de combustible y provisiones.

ii) El buque llega a puerto en las mismas condiciones que las de salida y con el 10% de combustible y provisiones.

iii) El buque sale de puerto en lastre sin carga pero con el total de combustible y provisiones.

iv) El buque llegá a puerto en las mismas condiciones de lastre, sin carga y con el 10% de combustible y provisiones.

c) Buques de carga destinados a llevar cargamentos sobre cubierta

i) El buque sale de puerto con carga completa distribuida de forma homogénea en las bodegas, con una cubertada cuyas medidas y peso se especifican y con el total de combustible y provisiones.

ii) El buque llega a puerto en las mismas condiciones que las de salida pero con el 10% de combustible y provisiones.

d) Buques pesqueros

i) El buque sale hacia el caladero con abastecimiento completo de combustible, provisiones, hielo, artes de pesca, etc..

ii) El buque sale del caladero con captura completa.

iii) El buque llega al puerto de origen con captura completa y un 10% de provisiones, combustible, etc..

iv) El buque llega al puerto de origen con un 20% de la captura completa y un 10% de provisiones, combustible, etc..

14.9.2. Tablas y diagramas que le permitan al Capitán obtener la estabilidad para cualquier condición intermedia de carga, determinando el $\overline{GM}o$ y trazando las curvas de estabilidad estática y dinámica para comprobar si cumplen con los criterios

Las tablas y diagramas se refieren a las curvas cruzadas ($\overline{KN}$), curvas hidrostáticas, tablas de volúmenes y centros de gravedad de tanques y bodegas, diagramas de escalas de calados, etc..

14.9.3. Instrucciones para el uso correcto de estabilizadores, ya sea de tipo de tanques de agua o aletas estabilizadoras.

14.9.4. Datos que faciliten al Capitán obtener el $\overline{GMo}$ mediante el período de balance del buque.

14.9.5. Tablillas donde estén dadas las correcciones por superficies libres de los tanques que poseen líquidos.

14.9.6. En buques que transporten cubertadas de madera en cubierta, información sobre permeabilidad de la madera y máxima cantidad de carga autorizada.

Todos los Capitanes y Oficiales deben saber utilizar esta información para poder tener bajo su control la estabilidad del buque.

14.10. INFORMACION DE ESTABILIDAD DEL BUQUE ATUNERO «ARATZ»

El buque atunero «Aratz» fue construido en los Astilleros Luzuriaga, S.A. en Bilbao, España, en el año 1981, según las normas Reglamentarias del Estado Español, que a su vez es signatario de los Convenios internacionales vigentes. (*) (Código de Seguridad para Pescadores y Buques Pesqueros; Recomendación sobre Estabilidad al estado intacto de Buques Pesqueros, etc.).

Al finalizar su construcción se entregó al Patrón o Capitán del buque un Libro o Cuadernillo de Estabilidad, en donde se encuentran todas las instrucciones necesarias para el cálculo de la estabilidad y recomendaciones operacionales para las diferentes condiciones de carga que se pueden presentar y que pudieran influir adversamente en la estabilidad.

(*) El Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros de 1977, hasta la fecha de impresión de este libro no ha entrado en vigor. Este Convenio tiene como fin establecer principios y reglas uniformes relativos a la construcción y al equipo de los buques pesqueros, para lograr una mayor seguridad para su tripulación y a dichos buques.

La entrada en vigor del Convenio será después de 1 año que hayan firmado su aprobación por lo menos 15 Estados cuyo conjunto de flotas de buques pesqueros de eslora mayores de 24 metros, por lo que respecta a número de pesqueros no sea menos del 50% de la flota mundial de dichos buques.

Se aplicará el Convenio a los buques pesqueros nuevos de eslora igual o superior a 24 metros, incluidos los que elaboren sus propias capturas.

No se aplicará el Convenio a los buques dedicados exclusivamente a lo siguiente:

a) al deporte o al recreo

b) a la elaboración de pescado o de otros recursos vivos del mar

c) a la investigación, y a la formación de personal, y

d) al transporte de pescado.

Este Libro de Estabilidad debe estar en lugares accesibles en todo momento para consultas del Capitán y Oficiales y será objeto de revisión en las inspecciones de los reconocimientos periódicos.

Si el buque sufriera alguna modificación que hiciera variar su estabilidad, este libro será sustituido por otro con la nueva información de estabilidad.

El Libro de Estabilidad está constituido por la siguiente información de estabilidad:

a) Información general sobre el buque
- — Características generales
- — Planos y esquemas generales
- . Plano de formas
- . Curvas hidrostáticas
- . Carenas inclinadas o Curvas cruzadas $\overline{KN}$
- . Curva del ángulo de inundación, en función del desplazamiento del buque y esquema del punto o lugar de inundación
- . Disposición general
- . Capacidades de tanques y cubas
- . Esquema longitudinal del buque

b) Experiencia de estabilidad
c) Situación de carga y estabilidad
d) Instrucciones al Patrón o Capitán

14.11. MANEJO DE LA INFORMACION DE ESTABILIDAD

Veamos someramente el uso o manejo de la información de estabilidad:

14.11.1. Características generales

Mediante esta información se pueden saber las características principales del buque y tiene mucha utilidad para los cálculos y suministro de datos de las Autoridades portuarias.

Características Generales

Nombre del Buque	Aratz
Tipo de Buque	Atunero congelador Tipo «Purse-Seiner»
Constructor	Astilleros Luzuriaga, España
Sociedad Clasificadora	Bureau Veritas
Eslora Total	65,10 m.
Eslora entre Perpendiculares	56,10 m.
Manga Máxima	11,60 m.
Puntal a la Cubierta Superior	8,05 m.
Puntal a la Cubierta Principal	5,70 m.
Calado Medio de Trazado	5,50 m.
Asiento de Proyecto	1,20 m.

Tonelaje Total o Bruto ..... 1.035,35 Tons. Moorsom
Tonelaje Neto ..... 428,06 Tons. Moorsom
Potencia ..... 2 x 2.350 H.P.
Espesor de la Quilla ..... 0,324 m.
Desplazamiento de Trazado, = 1,026 ..... 2.372,614 Tm.
Fuerza Máxima que puede desarrollar la
Maquinilla de Pesca ..... 34,00 Tm.
Esfuerzo en el extremo de la Pluma del Halador,
incluyendo máxima tracción del Halador ..... 12,00 Tm.

14.11.2. Planos y esquemas generales

a) Plano de formas: (Fig. XIV-6)

Este plano nos representa las proyecciones del buque en los tres planos de referencia: i) El plano horizontal o base se representa solamente la mitad, por ser el buque simétrico; las proyecciones de la intersección de un determinado número de planos de flotación con el casco nos dan las líneas de agua con su curvatura. Las cuadernas de trazado se representan con líneas rectas verticales y las secciones longitudinales están representadas por líneas rectas horizontales, ambas a intervalos constantes.

ii) El plano longitudinal está representado por la intersección de los planos de las secciones longitudinales con el casco con sus curvaturas reales. Las cuadernas de trazado por medio de rectas verticales equidistantes y las líneas de agua por rectas horizontales a intervalos constantes.

iii) El plano transversal se representan las proyecciones de las cuadernas de trazado con su curvatura real. En este plano se trazan las cuadernas de trazado de proa a la derecha o a estribor del plano de crujía y las cuadernas de trazado de popa a la izquierda o a babor de dicho plano. Las secciones longitudinales se representan por líneas rectas verticales equidistantes y las líneas de agua están representadas por líneas rectas horizontales también equidistantes. Sobre este plano se indica la curvatura y medida de la brusca.

Mediante este plano de formas se puede ubicar la posición de cualquier punto dentro del buque, así como calcular superficies y volúmenes en el mismo.

b) Curvas hidrostáticas o atributos de carena: (Ver al final Cap. VI)

Ya las hemos referido en el Epígrafe 6-4. Son imprescindibles para los cálculos exactos de la estabilidad, en ellas se suministran todos los datos necesarios en función de la parte sumergida del casco o carena, tales como: Altura centro de carena $\overline{KC}$, Altura del metacentro $\overline{KM}$, Volumen de carena Vc, Toneladas por centímetro de inmersión Tc, Distancia del centro de flotación a la perpendicular de popa $\overline{Ppp.F}$, etc..

c) Curvas cruzadas $\overline{KN}$ o de carenas inclinadas (Ver al final Cap. VII)

Las curvas cruzadas $\overline{KN}$ son aquellas trazadas en función del desplazamiento o volumen sumergido a un mismo ángulo de inclinación o escora, y se les llama también curvas isoclinas (Epígrafe 7-6).

Mediante ellas se pueden trazar las curvas de estabilidad estática y dinámica, obteniéndose los brazos de adrizamiento $\overline{KN}$ considerando la posición del centro de gravedad G en la quilla o brazos $\overline{GZ}$ cuando el G del buque está a una altura $\overline{KG}a$ sobre la quilla, llamado centro de gravedad asumido Ga.

$\overline{GZ} = \overline{KN} - \overline{KG}.\text{sen}\ \theta$

d) Curva del ángulo de inundación

La curva del ángulo de inundación, Fig. XIV-7, es aquella que para un determinado desplazamiento y un ángulo de escora θ_f se produce una inundación por alguna abertura del casco, caseta o superestructura que no se pueda cerrar de modo estanco rápidamente. En el buque «Aratz» la abertura que se considera para el trazado de la curva es la de la escotilla de salabardeo.

Las aberturas que no producen una inundación progresiva no son consideradas para este cálculo; tales como imbornales, tomas de mar, etc..

Esta curva se debe tener en cuenta para el cálculo de la estabilidad dinámica,

Características principales del atunero «Aratz»

Eslora total	65,1 m.
Eslora Pp.	56,1 m.
Manga	11,6 m.
Puntal a Cta. Superior	8,05 m.
Calado	5,50 m.

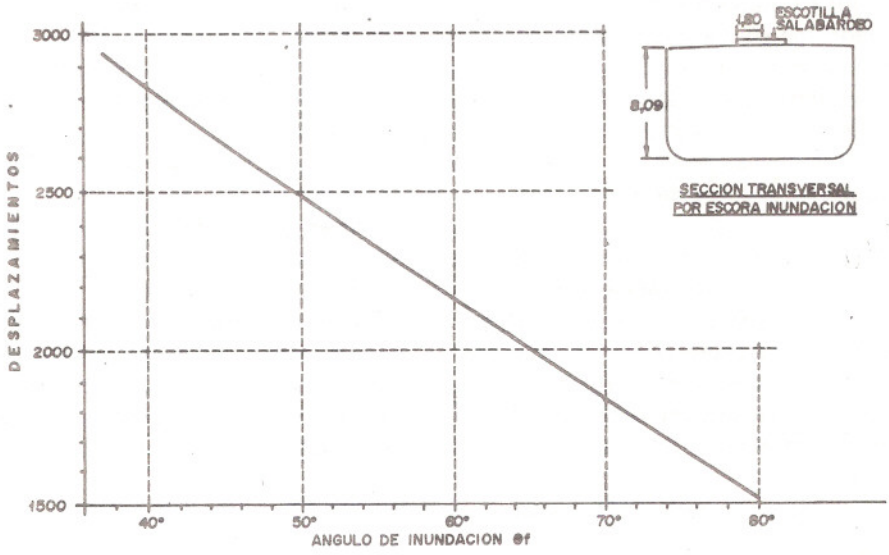


Fig. XIV-7 GRAFICO DE LA CURVA DEL ANGULO DE INUNDACION θf DEL ATUNERO "ARATZ".

si el ángulo de inundación es menor que 40°. En los criterios de estabilidad ya estudiados en este capítulo, establecen que:

i) Los criterios de Rahola y de O.M.I. para buques que transporten madera menores de 100 metros de eslora.

El brazo de la curva de estabilidad dinámica, será como mínimo de 80 mm. radianes a los 40° de escora o hasta el ángulo de inundación θ_f si éste es menor que 40°.

ii) Los criterios de O.M.I. para buques de carga y pasaje de eslora menores de 100 metros, así como el criterio de O.M.I. para pesqueros mayores de 24 metros de eslora.

El brazo de la curva de estabilidad dinámica será como mínimo de 90 mm. radianes hasta los 40° de escora o hasta el ángulo de inundación θ_f si éste es menor que 40°. Además la diferencia entre los brazos dinámicos de 40° y 30° o entre el ángulo de inundación θ_f, cuando éste sea inferior a 40° y 30° de escora, no será inferior a 30 mm. radianes.

A continuación se da una tablilla de 10 en 10 grados de escora y el desplazamiento que provocaría inundación para cada escora:

Angulo de inundación	Desplazamiento
10°	3703,096 Tm.
20°	3438,966 Tm.
30°	3148,758 Tm.
40°	2832,642 Tm.
50°	2491,762 Tm.
60°	2160,605 Tm.
70°	1838,476 Tm.
80°	1514,350 Tm.

e) Disposición general. (Fig. XIV-8)

Este plano de disposición general del buque «Aratz», muestra en el sentido longitudinal, la forma lanzada de su proa, con bulbo en la parte inferior de la roda; tiene dos cubiertas con una rampa en la parte de popa para la estiba del bote panga, como es habitual para este tipo de buque.

La disposición de las cubas o tanques de carga del 1 al 9 de a pares a babor y a estribor en un total de 18 cubas, quedando el espacio o cámara de máquinas a proa de ellas. Debajo de las cubas y de la cámara de máquinas están los doble fondos en los cuales se almacenan el combustible, agua dulce, aceite, etc.. Se han dispuesto tanques altos como los pique de proa y popa, según indica la disposición general.

Los alojamientos de la tripulación, comedor, gambuza, cocina, etc., se han dispuesto en la superestructura.

En los planos horizontales se han arreglado las cubiertas en el orden ascendente: cubierta principal, cubierta de botes, cubierta del puente y el techo del puente. Sobre la cubierta principal se encuentra el entrepuente de trabajo, con los elementos necesarios para el manejo de la carga.

La arboladura que se encuentra en la cubierta principal para la maniobra de pesca, así como la carga y descarga, consta de los siguientes elementos:

i) Un palo principal autosoportado, teniendo en su parte más alta la cofa.

ii) Una pluma principal para soportar el «power-block».

iii) Una pluma auxiliar para las operaciones de salabardeo y soportar a la vez las boyas de la red.

iv) Una pluma auxiliar para las operaciones de descarga, gemela a la anterior.

v) La plataforma-techo del puente se destina para pista de aterrizaje y estiba del helicóptero.

f) Corrección por superficies libres para tanques no exceptuados

Como el buque «Aratz» tiene una eslora inferior a 100 metros, se debe efectuar una corrección por superficies libres, en ciertos tanques llamados no exceptuados, cuyo momento de inercia por superficie libre (Ms.l) a una escora de 30 grados sea mayor que un centésimo del desplazamiento mínimo (Dr). Ver Apéndice 5

$$Ms.l. = v.m.\ \delta.k.\ \sqrt{Kb}$$

Tanques no exceptuados: $Ms.l. > 0{,}01.Dr$ (30°)

Dr = Desplazamiento mínimo = 1218,22 Tm. (M/N Aratz)

A continuación se da la tablilla para el coeficiente k = 1 del momento de inercia por superficie libre para los tanques no exceptuados.

Designación	e Máx. Eslora	m Máx. Manga	p Máx. Alt.	v Máx. Vol.	Kb Coef. Bl.Q.	δ Dens. Lfq.	Ms.l.k = 1 M. Esc. k = 1
D. Fondo Núm. 1 Gas-oil Br. = Er.	11.000	5.200	1.000	33.880	0.697	0.850	147.238
D. Fondo Núm. 2 Gas-oil Br. = Er.	9.900	5.200	1.000	35.880	0.695	0.850	132.398
T. Vert. Popa Gas-oil Br. = Er.	5.500	5.500	4.600	83.190	0.597	0.850	300.709
Rasel Popa Gas-oil Ctr.	2.200	9.500	3.200	43.020	0.643	0.850	278.612
T. Cong. Núm. 2 Gas-oil Br. = Er.	3.050	4.600	4.460	66.630	1.064	0.850	268.834
T. Cra. Maq. A. Dulce Ctr.	4.400	6.500	2.900	37.670	0.454	1.000	165.015
T. Cong. Núm. 9 A. Dulce Br. = Er.	6.350	5.500	4.460	89.250	0.572	1.000	371.568
T. Cong. Núm. 2 A. de Mar Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	66.630	0.890	1.026	354.826
T. Cong. Núm. 2 Salmuera Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	66.630	0.890	1.260	435.751
T. Cong. Núm. 3 A. de Mar Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	71.160	0.951	1.026	391.620
T. Cong. Núm. 3 Salmuera Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	71.160	0.951	1.260	480.937
T. Cong. Núm. 4 A. de Mar Br. = Er.	2.900	5.500	4.460	67.490	0.948	1.026	370.955
T. Cong. Núm. 4 Salmuera Br. = Er.	2.900	5.500	4.450	67.490	0.948	1.260	455.558
T. Cong. Núm. 5 A. de Mar Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	69.860	0.933	1.026	320.937
T. Cong. Núm. 5 Salmuera Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	69.860	0.933	1.260	467.818
T. Cong. Núm. 6 A. de Mar Br. = Er.	3.200	5.500	4.460	73.320	0.934	1.026	399.871
T. Cong. Núm. 6 Salmuera Br. = Er.	3.200	5.500	4.460	73.320	0.934	1.260	491.069
T. Cong. Núm. 7 A. de Mar Br. = Er.	2.900	5.500	4.460	66.880	0.940	1.026	365.937
T. Cong. Núm. 7 Salmuera Br. = Er.	2.900	5.500	4.460	66.880	0.940	1.260	449.395
T. Cong. Núm. 8 A. de Mar Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	59.430	0.794	1.026	298.895
T. Cong. Núm. 8 Salmuera Br. = Er.	3.050	5.500	4.460	59.430	0.794	1.260	367.065
T. Cong. Núm. 9 A. de Mar Br. = Er.	6.350	5.500	4.460	83.250	0.572	1.026	381.229
T. Cong. Núm. 9 Salmuera Br. = Er.	6.350	5.500	4.460	89.250	0.572	1.260	468.176

Esta tablilla de momentos de superficies libres, para los tanques no exceptuados, se utiliza para la corrección de los brazos de adrizamiento ($\overline{GZ}$) a fin de trazar

las curvas de estabilidad corregidas. Estos tanques no exceptuados se tienen en consideración para la corrección a la altura metacéntrica ($\overline{GM}$); los tanques exceptuados o pequeños cuyo $Ms.1_{30^o} < 0{,}01.Dr$ se pueden prescindir de la corrección, igualmente aquellas pequeñas cantidades de residuos de líquidos que quedan normalmente en los fondos de los tanques vacíos.

En este mismo capítulo haremos referencia a estas correcciones al resolver los ejemplos Nos. 68, 71, 72 y 73.

g) Esquema longitudinal del buque

El esquema longitudinal del buque, Fig. XIV-9, nos muestra en el plano longitudinal, la línea de flotación en la experiencia de estabilidad, las marcas de proa y popa en donde están marcados los calados; la perpendicular de proa y popa y la pendiente de la quilla referido al canto alto de la quilla o sea al asiento de proyecto.

Fig. XIV - 9

Se puede observar que la eslora entre marcas E = 52,25 m. y la eslora entre perpendiculares Epp = 56,10 m., no coinciden; la quilla tipo cajón tiene un espesor de 0,324 m. y el asiento de construcción es de 1,20 m. apopado.

Teniendo en cuenta este esquema, nos permite efectuar ciertas correcciones partiendo del desplazamiento (D) calculado, para hallar los calados en las marcas o viceversa, tomando los calados en las marcas, encontrar el desplazamiento del buque. En este mismo capítulo nos referiremos a este esquema al resolver algunos ejemplos.

14.11.2. Experiencia de estabilidad

El tema de la experiencia de estabilidad ya lo tratamos en el Cap. 12, su manera de efectuarla y el cálculo de la altura del centro de gravedad sobre la quilla $\overline{KG}$.

Este requisito que según las normas vigentes, es obligatorio realizarlo en todos los buques luego de construidos, también se efectuó la experiencia de estabilidad en el buque «Aratz».

Veamos las conclusiones obtenidas en la experiencia:

Tipo buque ..... Atunero congelador de 56,10 m. Epp.

Nombre del buque ..... ARATZ
Astillero constructor ..... Astilleros Luzuriaga Const. Núm. 220
Armador ..... Atuneros del Atlántico S.A.
Lugar de realización de la experiencia ..... Puerto de Pasajes
Fecha de realización 12/12/1980

Datos de la experiencia

Calados completos marcas proa Br. ..... 170,080 pulg.
Calados completos marcas proa Er. ..... 4,320 m.
Calados completos marcas popa Br. ..... 222,440 pulg.
Calados completos marcas popa Er. ..... 5,650 m.
Dist. marca proa a Ppr. (Marca fuera +) — 0,550 m.
Dist. marca popa a Ppp. (Marca fuera +) — 3,300 m.
Peso de la experiencia ..... 2,440 Tm. en cub. superior a 16,5 m. de la Ppp.
Distancia de traslado ..... 10,532 m.
Núm. de péndulos usados ..... 1,000 Altura del pénd. = 5,445 m.
Posición: en túnel de tanques congeladores - Desviación media del pénd. (*) = = 0,136 m.
Densidad del agua de mar 1,026

(*) NOTA: La desviación media del péndulo es el promedio de las desviaciones hacia babor y estribor.

A partir de estos datos se calculan mediante los planos de formas y las curvas de Bonjean los siguientes valores:

Volumen ..... 1867,144 m^3
$\overline{GM}t$ ..... 0,537 m.
$\overline{GM}t.$ corr. ..... 0,537 m.
$\overline{Ppp.\ C}$ ..... 26,388 m.
$\overline{KM}\ t$ ..... 5,386 m.
$\overline{Ppp.\ G}$ ..... 26,397 m.
Desplazamiento ..... 1915,690 Tm.
Corr. por sup. libre. 0,000
$\overline{KC}$ ..... 2,696 m.
$\overline{CM}\ t.$ ..... 2,690 m.
$\overline{KG}$ ..... 4,849 m.

Hasta este momento se calcularon todos estos valores pero con un desplazamiento D = 1915,690 Tm. que corresponde a la experiencia. Para hallar el desplazamiento en rosca Dr. se deben deducir los pesos ajenos al Dr. y agregar los pesos que aún no estaban colocados.

Veamos el cuadro siguiente de composición del buque en rosca:

COMPOSICION DEL BUQUE EN ROSCA

Descripción	Peso Tm.	$\overline{Kg}$ m.	Momento vertical Tm.m.	$\overline{Ppp.g}$ m.	Momento longitud Tm.m.
Buque en la experiencia	1915.69	4.84	9390.38	26.39	50569.19
Peso de la experiencia	−2.44	8.30	−20.25	16.50	−40.26
4 hombres en cta. principal	−0.30	6.75	−2.02	23.10	−6.93
4 hombres en cta. superior	−0.30	9.15	−2.74	19.25	−5.77
1 hombre en túnel (péndulo)	−0.07	3.20	−0.22	23.60	−1.65
Pluma principal	−5.30	10.90	−57.77	16.00	−84.80
Pluma de salabardeo	−2.80	11.50	−32.20	22.00	−61.60
Pluma de carga	−1.60	11.50	−18.40	19.00	−30.40
Anclas	−2.59	9.90	−25.64	55.00	−142.45
T. cong. núm. 3 agua dulce cnas. 50-56 Br. Er.	−142.32	3.61	−513.77	29.05	−4134.39
T. cong. núm. 4 agua dulce cnas. 44-50 Br. Er.	−134.98	3.52	−475.12	25.90	−3495.98
T. cong. núm. 5 agua dulce cnas. 38-44 Br. Er.	−139.72	3.42	−477.84	22.59	−3156.27
T. cong. núm. 6 agua dulce cnas. 32-38 Br. Er.	−146.64	3.48	−510.30	19.32	−2833.08
T. cong. núm. 7 agua dulce cnas. 26-32 Br. Er.	−133.76	3.54	−473.51	16.10	−2153.53
Serv. diario gas oil cnas. 64-67 Br. Er.	−8.25	6.70	−55.27	36.03	−297.24
Pluma principal	5.30	17.80	94.34	16.00	84.80
Pluma de salabardeo	2.80	19.70	55.16	22.00	61.60
Pluma de carga	1.60	17.80	28.48	19.00	30.40
Anclas	2.59	8.00	20.72	55.00	142.45
Bote panga	24.50	9.10	222.95	−1.00	−24.50
Botes rápidos en cta. botes	3.30	11.20	36.96	26.00	85.80
Botes rápidos en cta. superior	2.20	9.15	20.13	19.65	43.23
Halador	1.70	22.50	38.25	8.00	13.60
Hélice de respecto (1 pala)	0.57	6.20	3.53	11.00	6.27
Maquinilla de salabardeo	0.43	6.30	2.70	25.30	10.87
Tapas de escotillas de cubas	1.71	5.85	10.00	22.70	38.81
Consola de alarma	0.50	6.10	3.05	48.40	24.20
Respectos motor principal	2.00	4.60	9.20	42.80	85.60
Aparatos de puente y radar	0.90	21.00	18.90	37.40	33.66
Pastecas cables (jarcia)	4.00	20.50	82.00	17.00	68.00
Helicoptero	1.45	16.40	23.78	43.45	63.00
Efectos de fonda	0.60	10.50	6.30	42.35	25.41
Varios (sintasol, cemento, etc.)	10.00	9.80	98.00	55.00	550.00
Buque en Rosca	1260.770	5.869	7399.754	28.132	35468.026

NOTA: En el rosca del buque están incluidas 59 Tm. de lastre fijo situadas en: Varengas popa cnas. 8/19 - chapa de margen y quilla de cajón. Dicho lastre no se podrá mover sin la previa autorización de la inspección de buques.

En la columna de pesos, aquellos valores que tienen signos negativos son los pesos que se descargaron luego de la experiencia y los de signo positivo son los pesos que se agregaron.

De este cuadro se deduce el desplazamiento en rosca Dr = 1260.770 Tm., el $\overline{KG}$rosca = 5.869 m. y la distancia $\overline{Ppp.G}$rosca = 28.132 m.

Al pie del cuadro donde dice *Notas*, se explica que en el desplazamiento en rosca están incluidas 59 Tm. de lastre fijo. Esto es debido a que hubo que agregarle este lastre para que el buque quedara con una estabilidad adecuada, y, el desplazamiento en rosca y el asiento correspondiera al del proyecto del buque.

14.11.3. Situaciones de carga y estabilidad

En este capítulo en el epígrafe 14-9-1-d vimos las condiciones o situaciones de carga que se pueden presentar en las operaciones en los buques pesqueros.

Veamos mediante algunos ejemplos el procedimiento para realizar los cálculos de estabilidad y calados en diferentes condiciones de carga.

EJEMPLO Nº 68. A continuación se dan como datos los diferentes valores de pesos que componen el desplazamiento del buque «Aratz» para la condición de carga a la salida de puerto con plenos consumos para un viaje largo. Se pide: 1º) Calados que tendrá en las marcas; 2º) Trazar las curvas de estabilidad estática y dinámica corregida; 3º) Verificar la estabilidad mediante el criterio de O.M.I. para pesqueros de eslora mayores que 24 metros.

DETERMINACION DEL DESPLAZAMIENTO Y DEL C G

CUADRO A

EJEMPLO Nº 68

DENOMINACION DE LOS PESOS QUE COMPONEN EL DESPLAZAMIENTO: ROSCA, CARGA, CONSUMO, LASTRE, ETC	(1) Peso Tm.	(2) $\overline{KG}$ m.	(3)=(1)x(2) Momento vertical Tm.m.	(4) $\overline{Ppp.g}$ m.	(5)=(1)x(4) Momento longitud Tm.m.	(6) Inercia i_{ϕ} m^4	(7) Densidad δ	(8)=(6)x(7) $i.\delta$ Tm.m.
BUQUE EN ROSCA	1260 77	5 86	7399 45	28.13	35 467 98	—	—	—
Tripulación y efectos	3 00	10.50	31.50	36 90	110 70			
Aparejos y redes	20 00	9 50	190 00	4 80	96 00			
Pañoles	2 00	7 10	14 20	28 05	56 10			
T Servicio diario gas oil	9 70	6 87	66 63	36 03	349 49			
Víveres	4 00	9 30	37 20	35 60	142 40			
T de vino	5 00	9 30	46 50	36 80	184 00			
T de aceite vegetal	2 00	9 25	18 50	37 35	74 70			
Rasel proa T seco Cnas 96 Pr Ctr								
D Fondo No 1 gas oil Cnas 50-70 Br -Er	65 12	0.69	44.93	32.75	2 132 68	186 0		
D Fondo No 2 gas oil Cnas 32-50 Br -Er	58 58	0.49	28 70	22.86	1 339 13	206 5	0 85	175 5
D Fondo No 3 gas oil Cnas 20-32 Ctr	18 39	0 34	6 25	14 88	273 64	88 2		
T Vert popa gas oil Cnas 2-8 Br -Er	135 82	5 87	797 26	1 88	225 34	110 2		
Rasel popa gas oil Cnas 6-2 Ctr	35 12	5 98	210 01	− 1 91	− 67 07	107 6		
Cra Máquinas A dulce. Cnas 84-92 Ctr	36 92	2 02	74 57	48 17	1 778 43	29 7		
Cra Máquinas A dulce Cnas 71-84 Ctr Br	34 62	1.38	47 77	41 97	1 453 00	35 4		
T Aceite entrepuente Cnas 70-74 Br	3 03	7 31	22 14	39 59	119 95	0 1	0 93	0 1
T Cra Máquinas aceite Cnas 75-82 Er	7 72	1 89	14 59	42 45	327 71	0 8	0 93	0 7
T Cra Máquinas aceite Cnas 70-75 Er	11 20	1 79	20 04	39 65	444 08	3 0	0 93	2 8
T Popa queroseno	16 80	6 70	112 56	6 39	107 35	1 9	0 85	1 5
T Cong No 1 gas oil Cnas 62-70 Br -Er	75 00	3 78	283 50	35 87	2 690 25	28 5		
T Cong No 2 gas oil Cnas 56-62 Br -Er	113 28	3 68	416 87	32 42	3 672 53	90 9		
T Cong No 3 A de mar Cnas 50-56 Br -Er	146 02	3 61	527 14	29 05	4 241 88	89 5	1 026	91 8
T Cong No 4								
T Cong No 5								
T Cong No 6								
T Cong No 7								
T Cong No 8								
T Cong No 9 A dulce Cnas 8-20 Br -Er	178 50	4 07	726 49	7 54	1 345 89	157 5	1 0	157 5
	2 242 59		11 136 86		56 596 19			430 2
	≡ (1)		≡ (3)		≡ (5)			≡ (8)

DESPLAZAMIENTO D = (1) = 2.242.59 Tm.

INERCIA x DENSIDAD $i.\delta$ = (8) = 430.2 Tm.m

$\overline{KG} = \frac{\equiv(3)}{(1)} = \frac{11136.86}{2242.59} = 4.96$ m.

$\overline{Ppp.g} = \frac{\equiv(5)}{(1)} = \frac{56.596.19}{2242.59} = 25.23$ m.

CALCULO DE CALADOS Y ESTABILIDAD INICIAL

CUADRO B — EJEMPLO N° 68

Datos:

Desplazamiento (D) = 2.242,59 Tm.
Altura del c. de g. G ($\overline{KG}$) = 4,966 m.
Distancia del c. de g. G a la Ppp. ($\overline{Ppp.G}$) = 25,237 m.
Sumatoria de los momentos de superficies libres por densidad ($\Sigma i.\ \delta$) = 430,2 Tm.m.

Con el valor del desplazamiento se obtiene en las curvas hidrostáticas:
Calado de hidrostáticas (Ch) = 5,28 m.

Con este calado se obtiene en las curvas hidrostáticas:
Altura del metacentro longitudinal ($\overline{KM}_L$) = 62,51 m.
Altura del metacentro transversal ($\overline{KM}$) = 5,52 m.
Distancia del centro de carena a la Ppp. (Ppp.C) = 26,24 m.
Distancia del c. de g. de la flotación a la Ppp. (Ppp.F) = dpp = 23,74 m.

Cálculo de calados:

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\overline{CG} \times D}{Mu} = \frac{\left[\left(\overline{Ppp.G} - \overline{Ppp.C}\right) . D\right]}{\frac{D \times GM_L}{100 \times E}} \text{ (*)}$$

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\left[-25{,}24 - (-26{,}24)\right] 2.242{,}59}{23{,}0} = +98 \text{ cm.} \quad \checkmark (+) \text{ apopado}, \ (-) \text{ aproado}$$

$$\text{Alteración a popa (app)} = \frac{A}{E} . dpp = \frac{+0{,}98}{56{,}1} \times 23{,}74 = +0{,}41 \text{ m.}$$

Alteración a proa (apr) = A − app = 0,98 − 0,41 = − 0,57 m.
Asiento total (At) = A + A construcción = 0,98 + 1,20 = 2,18 m.
Calado s/base en la Ppr (Cbpr) = Ch − 0,60 − apr = 5,28 − 0,60 − 0,57 = 4,11 m.
Calado s/base en la Ppp (Cbpp) = Ch + 0,60 + app = 5,28 + 0,60 + 0,41 = 6,29 m.
Calado completo en la Ppr (Ccpr) = Cbpr + 0,324 = 4,11 + 0,324 = 4,434 m.
Calado completo en la Ppp (Ccpp) = Cbpp + 0,324 = 6,29 + 0,324 = 6,614 m.

$$\text{Calado completo en la maestra (Cc m)} = \frac{Ccpr + Ccpp}{2} = \frac{4{,}434 + 6{,}614}{2} = 5{,}524 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de proa (Cmpr)} = Ccpr + \frac{At}{E} \times 0{,}55 = \frac{4{,}434 + 2{,}18 \times 0{,}55}{56{,}10} = 4{,}46 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de popa (Cmpp)} = Ccpp - \frac{At}{E} \times 3{,}30 = \frac{6{,}614 - 2{,}18 \times 3{,}30}{56{,}10} = 6{,}49 \text{ m.}$$

Cálculo de la estabilidad inicial:

Altura metacéntrica transversal ($\overline{GM}$) = $\overline{KM} - \overline{KG}$ = 5,525 − 4,96 = 0,559 m.

$$\text{Corrección por superficie libre (c)} = \frac{\Sigma\, i.\ \delta}{D} = \frac{430{,}2}{2242{,}59} = 0{,}192 \text{ m.}$$

Altura metacéntrica corregida ($\overline{GMc}$) = $\overline{GM} - c$ = 0,559 − 0,192 = 0,367 m.

NOTA: $\overline{GMc}$ deberá resultar siempre *mayor de 0,35 m.*

(*) Ver Nota del epígrafe 11-6.

MOMENTOS ESCORANTES POR SUPERFICIE LIBRE DE TANQUES NO EXCEPTUADOS. = Ms.l

CUADRO C

EJEMPLO N° 68

Tabla de coeficientes k:
donde:
m = Manga máxima del tanque
p = Altura o puntal máximo del tanque

Para valores intermedios de m/p se interpola linealmente.

m/p \ θ°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
20	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
5	0.07	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05
3	0.04	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06
2	0.03	0.06	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08
1.5	0.02	0.05	0.07	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10
1	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.13	0.13
0.75	0.01	0.02	0.04	0.05	0.08	0.12	0.15	0.16
0.50	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.16	0.21
0.30	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.11	0.27
0.20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.27
0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.14

DESIGNACION DE TANQUES	NOM. ESC. PARA k=1 M_1	10° k_{10}	$k_{10} \times M_1$	20° k_{20}	$k_{20} \times M_1$	30° k_{30}	$k_{30} \times M_1$	40° k_{40}	$k_{40} \times M_1$	50° k_{50}	$k_{50} \times M_1$	60° k_{60}	$k_{60} \times M_1$	70° k_{70}	$k_{70} \times M_1$	80° k_{80}	$k_{80} \times M_1$
T. Vert. popa gas oil Cnas. 2-8 Br. Er.	601.418	0.014	8.42	0.038	22.85	0.058	34.88	0.082	49.32	0.104	62.55	0.116	69.76	0.122	73.37	0.118	70.97
T. Cong. N° 3 A. de mar Cnas. 50-56 Br. Er.	783.240	0.015	11.74	0.040	31.33	0.060	47.00	0.085	66.58	0.105	82.24	0.115	90.07	0.120	93.99	0.115	90.07
T. Cong. N° 9 A. dulce Cnas. 8-20 Br. Er.	743.136	0.015	11.14	0.040	29.73	0.060	44.59	0.085	63.17	0.105	78.03	0.115	85.46	0.120	89.18	0.115	85.46
			31.30		83.91		126.47		179.07		222.82		245.29		256.54		246.50
			$\Sigma k_{10} \times M_1$		$\Sigma k_{20} \times M_1$		$\Sigma k_{30} \times M_1$		$\Sigma k_{40} \times M_1$		$\Sigma k_{50} \times M_1$		$\Sigma k_{60} \times M_1$		$\Sigma k_{70} \times M_1$		$\Sigma k_{80} \times M_1$

Correcciones $\overline{GZ}$ por momentos escorantes:

$$\Delta\overline{GZ}_{10^\circ} = \frac{\Sigma k_{10^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.014}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{20^\circ} = \frac{\Sigma k_{20^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.037}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{30^\circ} = \frac{\Sigma k_{30^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.056}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{40^\circ} = \frac{\Sigma k_{40^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.080}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{50^\circ} = \frac{\Sigma k_{50^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.099}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{60^\circ} = \frac{\Sigma k_{60^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.109}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{70^\circ} = \frac{\Sigma k_{70^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.114}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{80^\circ} = \frac{\Sigma k_{80^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.110}{} \text{ m.}$$

CALCULO DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y ESTABILIDAD DINAMICA

CUADRO D

EJEMPLO N° 68

Datos:

Desplazamiento D = 2242.59 Tm
Altura c. de g. $\overline{KG}$ = 4.966 m.

Con el desplazamiento obtenemos de las curvas cruzadas los valores $\overline{KN}$ y de la curva del ángulo de inundación θ_f.

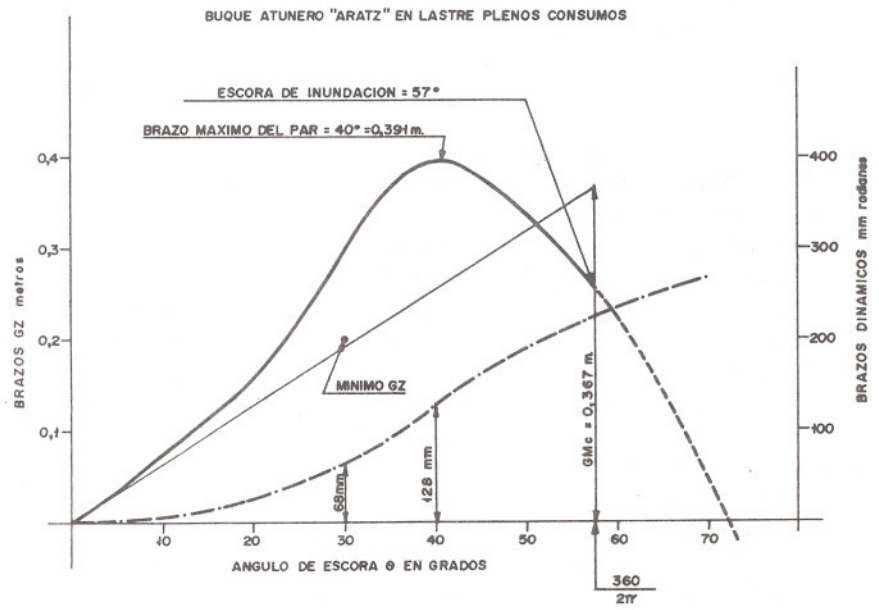
ESTABILIDAD ESTATICA								ESTABILIDAD DINAMICA			
(1) θ°	(2) $\overline{KN}$ m.	(3) sen θ	(4) $\overline{KG}$. sen θ m.	(5)=(2)-(4) $\overline{GZ}$ m.	(6) $\Delta\overline{GZ}$ m.	(7) $\Delta\overline{GZ}$ por asiento m.	(8)=(5)(6)(7) $\overline{GZ}c$ m.	(9) Ordenada media mm.	(10) $\frac{10.2\pi\ rad.}{360}$ 0,1745	(11)=(9)(10) Dinámica parcial mm.rad.	(12) Dinámica total mm.rad.
0°	—	0.0000	—	—	—	—	—	—	"	—	—
10°	0.958	0.1736	0.862	0.096	−0.014	—	0.082	41	"	7	7
20°	1.894	0.3420	1.698	0.196	−0.037	—	0.159	120	"	21	28
30°	2.835	0.5000	2.483	0.352		—	0.296	227	"	40	
40°	3.663	0.6428	3.192	0.471	−0.080	—	0.391	343	"	60	128
50°	4.242	0.7660	3.804	0.438	−0.099	—	0.339	365	"	64	192
60°	4.637	0.8660	4.300	0.336	−0.109	—	0.227	283	"	49	241
70°	4.827	0.9397	4.666	0.161	−0.114	—	0.047	137	"	24	265
80°	4.855	0.9848	4.890	−0.035	−0.110	—	−0.145		"		

Angulo de inundación θ_f = 57°

NOTA Las correcciones de $\overline{GZ}$ por asiento (columna 7) serán:
- Constante e = 0,02 para todos los ángulos si el asiento difiere del de Proyecto (1,2 m.) en más de 1 m.
- Nulas en los demás casos

CUADRO E

EJEMPLO Nº 68



CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS MAYORES DE 24 METROS

Estabilidad Estática	Estabilidad Dinámica
Condiciones:	
a) $\overline{GM}c$ = 367 mm. > 350 mm.	a) Brazo dinámico a 30° =
b) $\overline{GZ}_{30^\circ}$ = 296 mm. > 200 mm.	= 68 mm.rad. > 55 mm.rad.
c) $\overline{GZ}_{máx.}$ = 40° > 30°	b) Brazo dinámico a 40° =
	= 128 mm.rad. > 90 mm.rad.
	c) Diferencia entre:
	Brazo dinámico 40° = 128 mm.rad
	— Brazo dinámico 30° = 68 mm.rad.
	Diferencia = 60 mm.rad.
	Diferencia brazos dinámicos > 30 mm.rad.
	θ_f = 57° > 40°

Respuesta:

1°.) Calados en las marcas
Cmpr. = 4,46 m. ; Cmpp = 6,49 m.

2°.) Las curvas de estabilidad estática y dinámica corregidas, ver en gráfico Cuadro E

3°) El buque cumple con todas las condiciones del criterio.

14.11.4. Explicación de los cuadros guías para el cálculo de estabilidad y calados

a) Explicación del cuadro guía A

En este cuadro se realizan los cálculos de: desplazamiento, situación del centro de gravedad e inercias de tanques.

Para efectuar estos cálculos se deben anotar en:

Columna 1; pesos que se deben agregar al rosca.

Columna 2; altura de los c. de g. de los pesos sobre la quilla $\overline{Kg}$.

Columna 4; distancia longitudinal de los pesos comprendidos entre la perpendicular de popa (Ppp) y el c. de g. de los pesos.

Columnas 3 y 5; los momentos verticales y longitudinales respectivos.

Columna 6; inercia de los tanques de las superficies libres, considerando aquellos tanques que no están llenos por completo o que se prevée que vayan a tener superficies libres por el consumo.

Si un tanque es simétrico se considera la inercia de los dos.

Columna 7; se anota la densidad de aquellos tanques que vayan a considerarse con superficies libres. Las densidades usadas son las siguientes:

Agua de mar	(Internacionalmente debe ser 1,025)	= 1,026
Agua dulce		= 1,000
Salmuera		= 1,260
Gas-oil		= 0,850
Aceite		= 0,930
Pescado		= 0,650

Columna 8; se anota el momento de inercia de las superficies libres (i. δ).

Finalmente, como indica el cuadro se operan las respectivas columnas, obteniéndose el desplazamiento (D), las coordenadas del centro de gravedad G y la sumatoria de los momentos de inercias.

b) Explicación del cuadro guía B

Se deben seguir los pasos indicados en el cuadro, colocando los datos y valores obtenidos de las curvas hidrostáticas.

Al seguir operando se llega a los calados en las marcas y finalmente la altura metacéntrica transversal corregida ($\overline{GMc}$).

c) Explicación del cuadro guía C

En este cuadro guía para el cálculo de momentos escorantes provocados por

superficies libres de los tanques no exceptuados, Epíg. 14-11-2-f. Esta corrección se aplica en el cuadro D.

En la columna de designación se anotan los tanques que tengan superficie libre y sean no exceptuados. Ver Apéndice 5.

En la columna Mom. Esc. para k = 1 se anota el valor obtenido del correspondiente tanque del Epígrafe 14-11-2-f. En el caso que sean dos tanques simétricos se multiplica por dos dicho valor.

Para las escoras de 10 en 10 grados, se van obteniendo los momentos escorantes, luego de multiplicar el Mom. esc. para k = 1 por el coeficiente k obtenido de la tabla que se encuentra en el Cuadro C, utilizando la relación m/p (manga dividido puntal de dicho tanque).

La corrección del $\overline{GZ}$ para cada ángulo de escora se obtiene al dividir la sumatoria de momentos por el desplazamiento.

d) Explicación del cuadro guía D

Con este cuadro se obtienen los brazos $\overline{GZ}$ corregidos, para el trazado de la curva de estabilidad estática transversal y de la curva de brazos dinámicos.

Columna 1; se anotan los ángulos de inclinaciones de 10 en 10 grados.

Columna 2; los valores de los $\overline{KN}$ obtenidos de las curvas cruzadas, entrando con el desplazamiento.

Columna 3; se anotan los valores de los senos naturales de los respectivos ángulos de escora.

Columna 4; el valor $\overline{KG}$. sen θ

Columna 5; nos da los valores de la diferencia de las columnas 2 y 4.

Columna 6; se anotan los valores obtenidos en el cuadro C.

Columna 7; ver *Nota* al pie del cuadro.

Columna 8; son los valores de $\overline{GZ}$ corregido.

Columna 9; se obtiene la ordenada media de los brazos $\overline{GZ}$ corregido en mm. (Ver Cap. IX Estabilidad dinámica).

Columna 10; el valor de 10 grados en radianes = 0,1745.

Columna 11; la estabilidad dinámica parcial en mm. radianes cada 10 grados.

Columna 12; la estabilidad dinámica total que viene a ser la sumatoria de las dinámicas parciales.

Finalmente se anota el ángulo de inundación θ_f obtenido de la curva de ángulos de inundación. Fig. XIV-7.

e) Explicación del cuadro guía E

En este cuadro guía final trazamos las curvas de estabilidad estática y dinámica con los valores obtenidos en el cuadro D.

Luego, de comprobar el criterio de estabilidad de O.M.I. para pesqueros mayores de 24 metros de eslora, como es el caso del «Aratz», se determina si el buque está en condiciones de navegar o no.

14.11.5. Procedimiento aproximado para calcular la estabilidad

Estos procedimientos para calcular la estabilidad se deben considerar, solamente, como de orientación y en el caso que se requiera un cálculo exacto, se debe

seguir las instrucciones dadas en el epígrafe 14-11-4.

a) Cálculo aproximado de la estabilidad a partir del desplazamiento

Luego de conocido el desplazamiento D y la altura del centro de gravedad $\overline{KG}$ obtenidos en el Cuadro guía A, se corrige el $\overline{KG}$ por efecto de superficies libres de los líquidos obteniéndose el valor $\overline{KG}c$. Luego se entra en el gráfico de la curva de la Fig. XIV-10 con el D y se puede determinar si la estabilidad es satisfactoria o inadmisible.

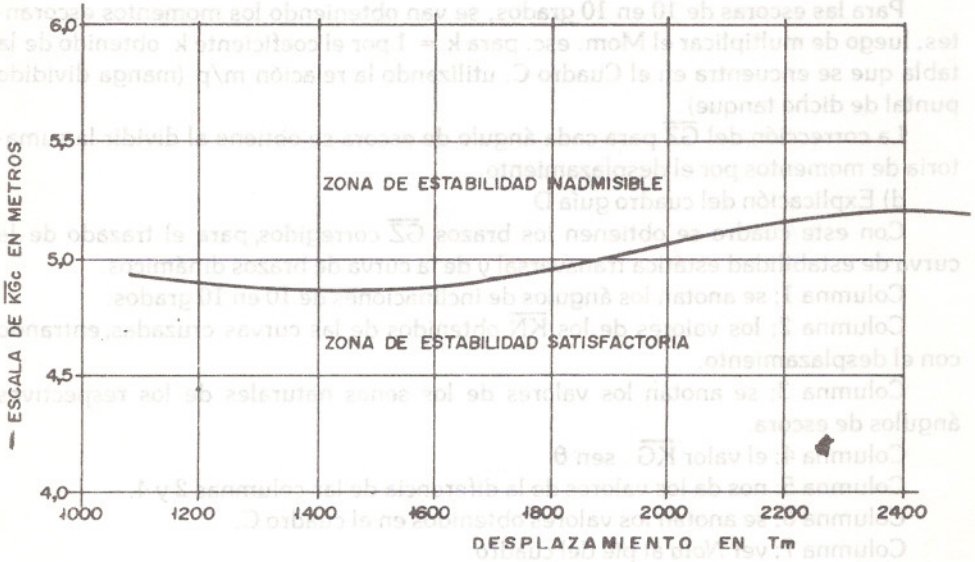


Fig. XIV - 10

b) Cálculo aproximado del $\overline{GM}$ inicial a partir del período de balance

Una vez obtenido el período doble de balance Td se puede determinar el $\overline{GM}$ inicial corregido mediante el ábaco Fig. XIV-11.

Este ábaco está construido para este buque («Aratz») mediante la fórmula

$$\overline{GMc} = \left(\frac{K \cdot M}{Td}\right)^2 \quad \text{(Ver Epígrafe 12-3)}$$

K = coeficiente dado por la administración. K = 0.735

M = manga de trazado M = 11.60 m.

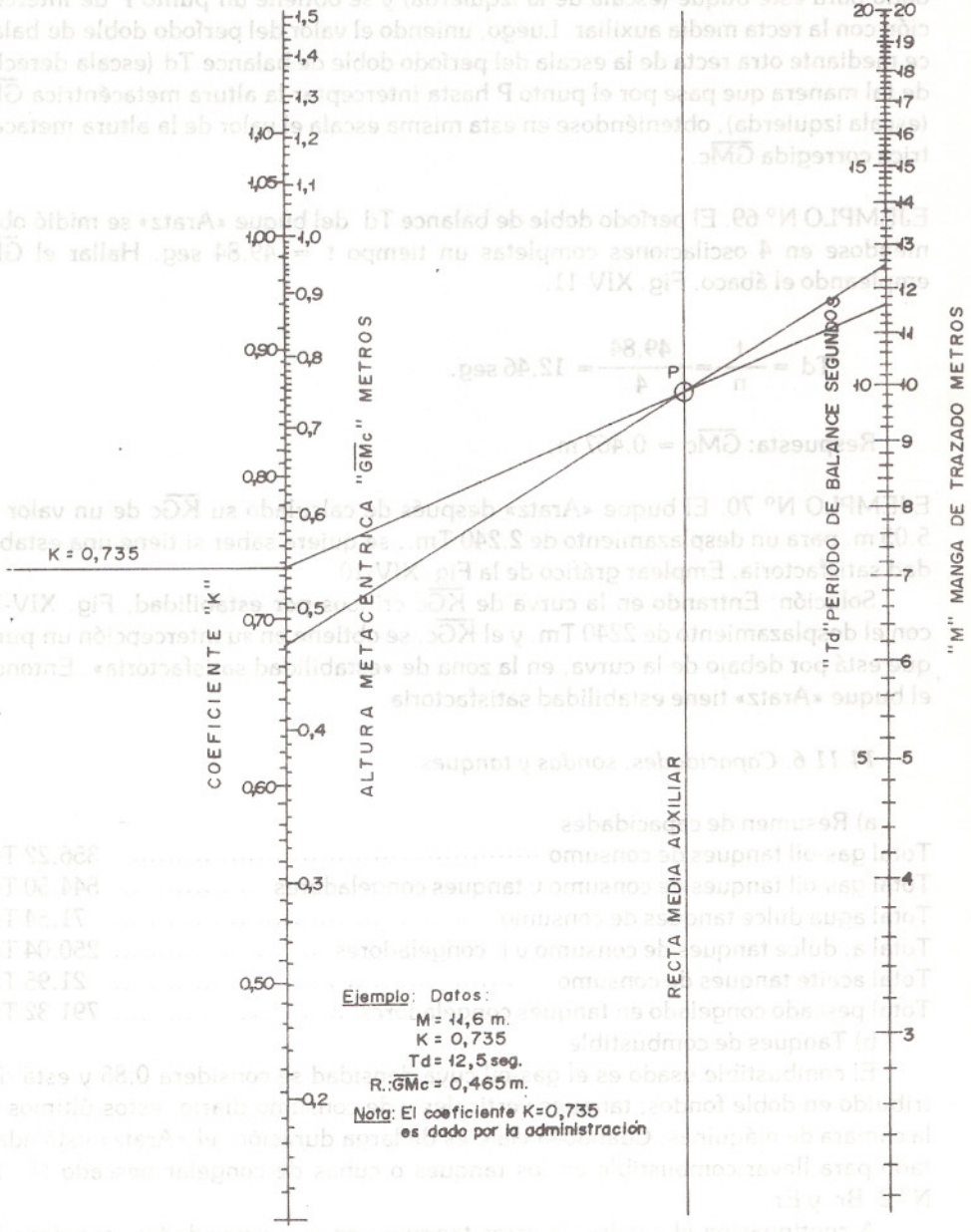
Td = período doble de balance, medido en segundos

La medición del período doble de balance se hará como lo indicado en el Cap. XII-Epígrafe 12-3.

Un método para medir el período doble de balance de un buque, si éste estuviera en aguas tranquilas, sería el siguiente: se ponen 10 hombres en cubierta que se muevan de una a otra banda para hacer oscilar el buque, en una secuencia que se aproxime al período de balance durante unos 10 minutos y obtener de esta manera las amplitudes que se puedan medir.

DIAGRAMA PARA EL CONTROL DE LA ESTABILIDAD MEDIANTE LA MEDIDA DEL PERIODO DOBLE DE BALANCE.

$$\overline{GMc} = \left(\frac{K.M}{Td}\right)^2$$



Ejemplo: Datos:
M = 11,6 m.
K = 0,735
Td = 12,5 seg.
R.: $\overline{GMc}$ = 0,465 m.

Nota: El coeficiente K=0,735 es dado por la administración

Fig. XIV - 11

La explicación del ábaco para el cálculo de la altura metacéntrica inicial corregida $\overline{GM}c$ es la siguiente:

Se une la manga M del buque (escala derecha), con el coeficiente K que es dado para este buque (escala de la izquierda) y se obtiene un punto P de intercepción con la recta media auxiliar. Luego, uniendo el valor del período doble de balance mediante otra recta de la escala del período doble de balance Td (escala derecha) de tal manera que pase por el punto P hasta interceptar la altura metacéntrica $\overline{GM}c$ (escala izquierda), obteniéndose en esta misma escala el valor de la altura metacéntrica corregida $\overline{GM}c$.

EJEMPLO N° 69. El período doble de balance Td del buque «Aratz» se midió obteniéndose en 4 oscilaciones completas un tiempo t = 49,84 seg. Hallar el $\overline{GM}c$ empleando el ábaco. Fig. XIV-11.

$$Td = \frac{t}{n} = \frac{49{,}84}{4} = 12{,}46 \text{ seg.}$$

Respuesta: $\overline{GM}c$ = 0,467 m.

EJEMPLO N° 70. El buque «Aratz» después de calculado su $\overline{KG}c$ de un valor de 5.05 m. para un desplazamiento de 2.240 Tm., se quiere saber si tiene una estabilidad satisfactoria. Emplear gráfico de la Fig. XIV-10.

Solución: Entrando en la curva de $\overline{KG}c$ críticos por estabilidad, Fig. XIV-10, con el desplazamiento de 2240 Tm. y el $\overline{KG}c$, se obtiene en su intercepción un punto que está por debajo de la curva, en la zona de «estabilidad satisfactoria». Entonces el buque «Aratz» tiene estabilidad satisfactoria.

14.11.6. Capacidades, sondas y tanques

a) Resumen de capacidades

Total gas-oil tanques de consumo	356,22 Tm.
Total gas-oil tanques de consumo y tanques congeladores	544,50 Tm.
Total agua dulce tanques de consumo	71,54 Tm.
Total a. dulce tanques de consumo y t. congeladores	250,04 Tm.
Total aceite tanques de consumo	21,95 Tm.
Total pescado congelado en tanques congeladores	791,32 Tm.

b) Tanques de combustible

El combustible usado es el gas-oil cuya densidad se considera 0,85 y está distribuido en doble fondos, tanques verticales y de consumo diario, estos últimos en la cámara de máquinas. Cuando el viaje es de larga duración, el «Aratz» está adaptado para llevar combustible en los tanques o cubas de congelar pescado N° 1 y N° 2, Br. y Er.

A continuación el cuadro de estos tanques con sus capacidades, coordenadas del centro de gravedad del tanque y en la última columna su inercia cuando existen superficies libres. Ver cuadro 1.

Cuadro 1. TANQUES DE COMBUSTIBLE.

CONCEPTOS	Volumen Total m 3	Volumen 23 Hierros m 3	Volumen 2% Expac m 3	Densidad δ	Peso Tm	C. de G. S. base m	C. de G. Long. Ppp m	Inercia. m 4
Rasel de proa gas oil Cnas. 96 proa Ctr.	41 02	40 20	39 40	0 85	33 49	3 92	54 51	4 34
Doble fondo N° 1 gas oil Cnas 50 70 Br	39 89	39 09	38 31	0 85	32 56	0 69	32 75	93 02
Doble fondo N° 1 gas oil Cnas 50 70 Br	39 89	39 09	38 31	0 85	32 56	0 69	32 75	93 02
Doble fondo N° 2 gas oil Cnas 32 50 Br	35 88	35 16	34 46	0 85	29 29	0 49	22 36	103 27
Doble fondo N° 2 gas oil Cnas 32 50 Er	35 88	35 16	34 46	0 85	29 29	0 49	22 36	103 27
Doble fondo N° 3 gas oil Cnas 20 32 Ctr	22 53	22 08	21 64	0 85	18 39	0 31	14 83	88 22
T. vertical popa gas oil Cnas 2 8 Br	83 19	81 53	79 90	0 85	67 91	3 87	1 88	56 12
T. vertical popa gas oil Cnas 2 8 Er	83 19	81 53	79 90	0 85	67 91	3 87	1 88	56 12
T. Servicio diario gas oil Cnas 64 67 Br	5 81	5 81	5 70	0 85	4 85	6 87	36 03	0 46
T. servicio diario gas oil Cnas 64 67 Er	5 81	5 81	5 70	0 85	4 85	6 87	36 03	0 46
Rasel de popa gas oil Cnas. 6 8 Ctr	43 02	42 16	41 32	0 85	35 12	5 98	- 1 91	107 67
Tanque compelador N° 1 gas oil Cnas 62 70 Br	44 12	–	–	0 85	37 50	3 78	35 87	14 25
Tanque compelador N° 1 gas oil Cnas 62 70 Er	44 12	–	–	0 85	37 50	3 78	35 87	14 25
Tanque compelador N° 2 gas oil Cnas 56 62 Br	66 63	–	–	0 85	56 64	3 58	32 42	45 46
Tanque compelador N° 2 gas oil Cnas 56 62 Er	66 63	–	–	0 85	56 64	3 58	32 42	45 46

Se recomienda consumir el combustible de las cubas primeramente, luego los tanques verticales y finalmente los doble fondos. Este consumo se hará en forma simétrica, un tanque de babor y otro de estribor a la vez. No se debe tener más de 2 tanques con superficies libres (los que se están consumiendo).

Para medir la cantidad de combustible que tiene cada tanque, cuando no se encuentra lleno, se utiliza un gráfico mediante el cual se obtiene el volumen en m^3 y la altura del centro de gravedad del tanque, entrando con el valor de la sonda en metros en la ordenada. (*)

El siguiente gráfico nos muestra las curvas de volumen y centro de gravedad del doble fondo N° 1 de gas-oil.

Por ejemplo, si se obtiene la sonda del T. D.F. N° 1 de gas-oil con un valor de 0.85 m., se tiene un volumen de 24,0 m^3 y su altura del centro de gravedad del tanque es de 0,51 m. para ese volumen. Luego, el peso del combustible se calcula multiplicando el volumen por la densidad:

$$p = v.\ \delta = 24{,}0 \times 0{,}85 = 20{,}4\ Tm.$$

(*) La sonda es un instrumento, que sirve para medir la altura de la columna líquida sobre el fondo de los tanques (sonda mojada) o entre la superficie del líquido y la parte superior del tanque o del brocal en buques tanques (sonda de vacío). La sonda es una varilla o cinta graduada con una plomada en su extremo, la cual se introduce por el tubo de sonda del tanque que se desea medir.

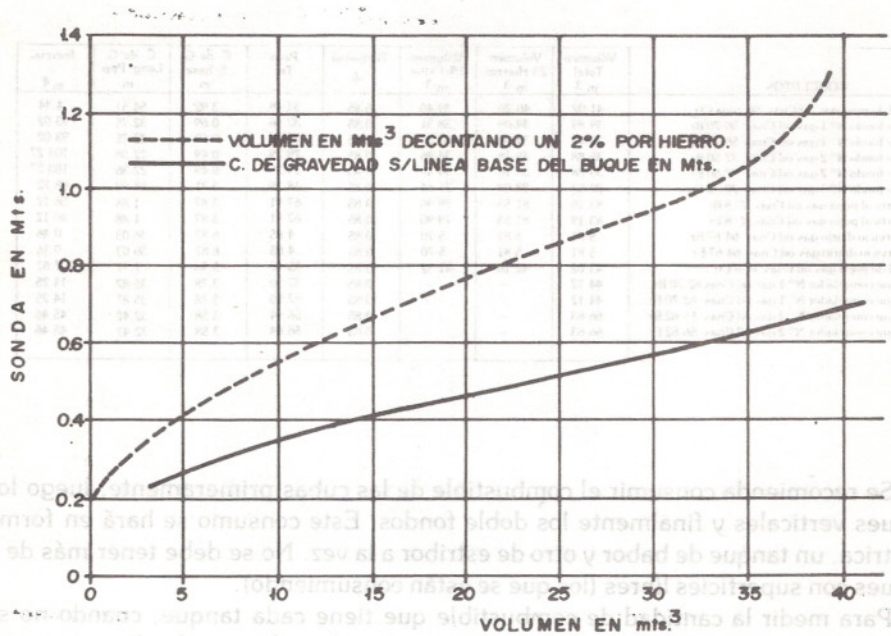
Los tubos de sonda son de 35 a 40 mm. de diámetro y están comprendidos entre el fondo del tanque y la cubierta en su parte superior, en un lugar de fácil acceso; la tapa del tubo es de un material resistente a la corrosión y va roscada en el tubo.

La medida obtenida puede ser en metros o pies. Si la sonda no se encuentra en el centro del tanque, se debe corregir por asiento y escora; generalmente, en las tablillas de sonda para cada tanque traen las indicaciones para esas correcciones.

El valor dado en la tablilla de sonda puede ser en unidades de volumen (m^3 o pies ^{3}) o de peso (Tm. o L/T).

Se debe tener precaución al estibar carga en cubierta de dejar un espacio libre donde se encuentran las sondas.

Cuadro 2. T. DOBLE FONDO No. 1 DE GAS-OIL.



c) Tanques de agua dulce

Estos tanques de agua dulce se encuentran en la cámara de máquinas. Si se posee agua dulce en las cubas N° 9 Br. y Er. se debe consumir de éstas primero, en forma simétrica hasta su total agotamiento.

A continuación se presenta un cuadro de estos tanques, donde se detallan sus volúmenes, coordenadas del centro de gravedad e inercias. Cuadro 3.

Cuadro 3. TANQUES DE AGUA DULCE.

CONCEPTOS	Volumen Total m^3	Volumen 2% Hierros m^3	Volumen 2% Expac. m^3	Densidad δ	Peso Tm.	C. de G. S/base m.	C. de G. Long. Ppp. m.	Inercia m^4
Tanque Cra. máquinas agua dulce Cnas. 84-92 Ctr.	37.67	36.92	–	1	36.92	2.02	48.17	29.70
Tanque Cra. máquinas agua dulce Cnas. 71-84 Ct. Br.	35.33	34.62	–	1	34.62	1.38	41.97	35.46
Tanque congelador N° 9 A. dulce Cnas. 8-20 Br.	89.25	–	–	1	89.25	4.07	7.54	78.79
Tanque congelador N° 9 A. dulce Cnas. 8-20 Er.	89.25	–	–	1	89.25	4.07	7.54	78.79

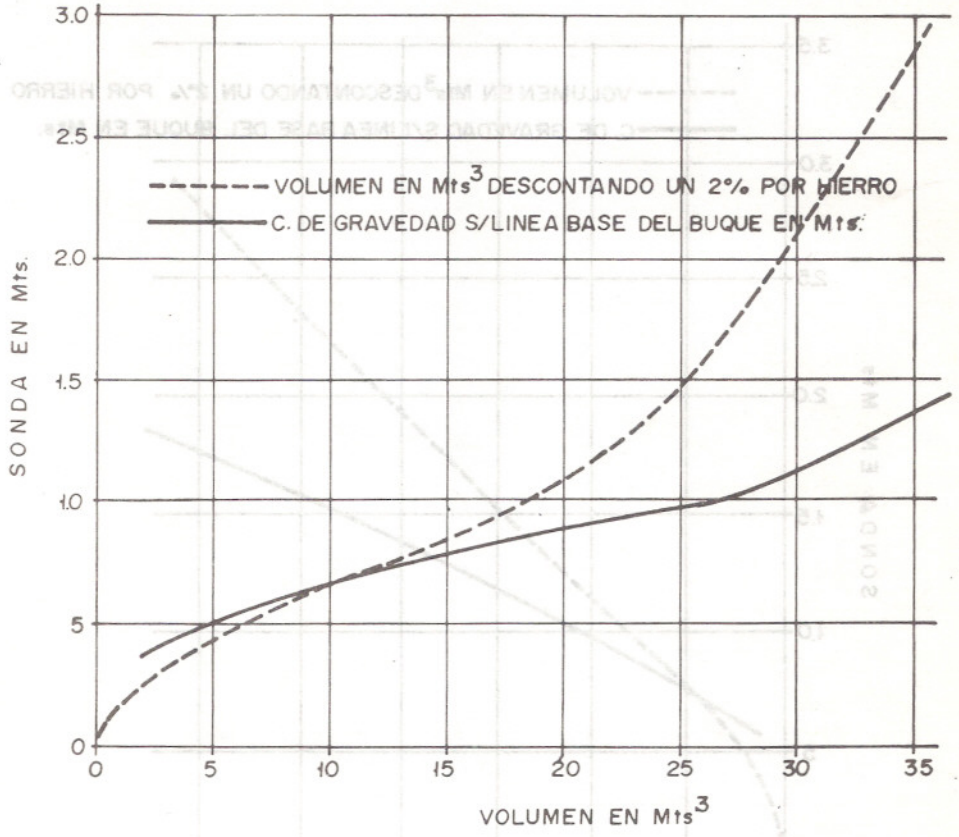
Es recomendable que las superficies libres no excedan de 1 tanque de servicio de agua dulce y las dos cubas N° 9 Br. y Er. simultáneamente.

d) Tanques de aceite

Se consumirá de los tanques precisos para el consumo del buque.

Estos tanques pueden tener superficies libres, debido a que su momento de inercia es muy pequeño.

Cuadro 4. CURVAS PARA HALLAR EL VOLUMEN Y LA ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL TANQUE DE LA CAMARA DE MAQUINAS DE AGUA DULCE CNA. 71-84 CENTRO BABOR.



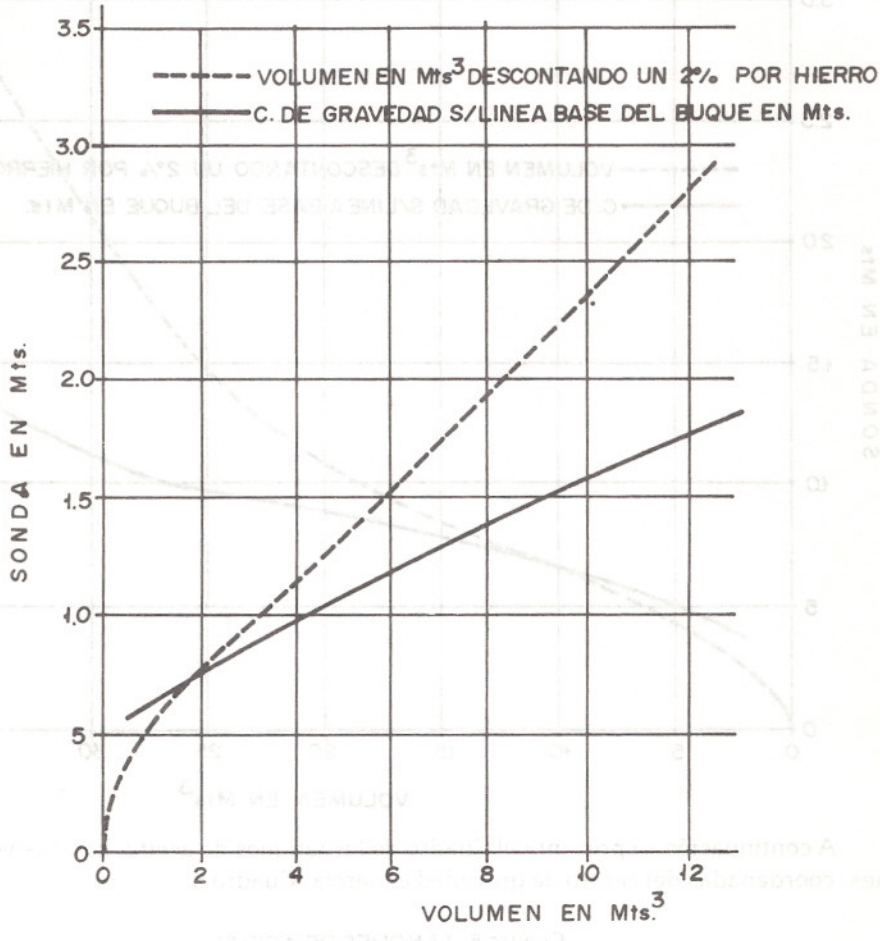
A continuación se presenta el Cuadro de los tanques de aceite, con sus volúmenes, coordenadas del centro de gravedad e inercia. Cuadro 5.

Cuadro 5. TANQUES DE ACEITE.

CONCEPTOS	Volumen Total m^3	Volumen 2% Hierros m^3	Volumen 2% Expac. m^3	Densidad δ	Peso Tm.	C. de G. S/base m.	C. de G. Long. Ppp. m.	Inercia m^4
Tanque Cra. máquinas aceite Cnas. 75-82 Er.	8.73	8.56	8.39	0.92	7.72	1.89	42.45	0.83
Tanque Cra. máquinas aceite Cnas. 70-75 Er.	12.67	12.42	12.17	0.92	11.20	1.79	39.65	3.03
Tanque entre puente aceite Cnas. 70½-74	3.43	3.36	3.29	0.92	3.03	7.31	39.59	0.12

Para calcular el volumen de aceite y la altura del centro de gravedad de los tanques que no se encuentran llenos, se utiliza un gráfico como el mostrado en el Cuadro 6.

Cuadro 6. GRAFICO PARA CALCULAR EL VOLUMEN Y LA ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL TANQUE DE ACEITE QUE SE ENCUENTRA EN MAQUINAS ENTRE LAS CNAS. 70-75 ER.



e) Tanques congeladores

Los tanques congeladores son aquellos destinados a la carga del pescado congelado. El buque «Aratz», por ejemplo, tiene 18 tanques o cubas numerados del 1 al 9 de a pares a babor y estribor.

Las operaciones de llenado y vaciado de estos tanques se deben efectuar en forma simultánea y simétrica, para que no se produzcan escoras.

Al salir el buque de puerto, se deben llenar totalmente los tanques congeladores para darle una mejor estabilidad y asiento.

Además de llenarse con agua de mar, estas cubas son utilizadas para preparar salmuera, donde finalmente se sumerge el pescado para su congelación.

En caso de que las cubas posean pescado en congelación o agua de mar, se

mantendrán completamente llenas, sin superficies libres.

Cuando posean en su almacenamiento agua dulce, combustible o salmuera es recomendable tener no más de dos cubas con superficies libres.

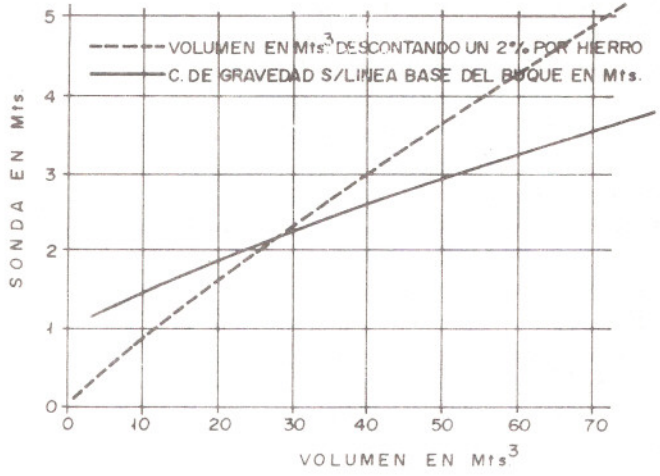
A continuación un Cuadro de los tanques congeladores, en donde se detallan los volúmenes, toneladas métricas de agua de mar, salmuera o pescado congelado, coordenadas del centro de gravedad y las inercias de los mismos. Cuadro 7.

Cuadro 7. TANQUES CONGELADORES DE CARGA.

		Densidades de Cargas					
		1.026	1.260	0.65			
CONCEPTOS	Volumen Total m^3	Agua de Mar	Salmuera	Pescado Congelado	C. de G. S. base m.	C. de G. Long. Ppp m.	Inercia m^4
Tanque congelador N° 1 Cnas. 62-70 Br.	44.12	45.27	55.59	28.68	3.78	35.87	14.25
Tanque congelador N° 1 Cnas. 62-70 Er.	44.12	45.27	55.59	28.68	3.78	35.87	14.25
Tanque congelador N° 2 Cnas. 56-62 Br.	66.63	68.36	83.95	43.31	3.68	32.42	45.46
Tanque congelador N° 2 Cnas. 56-62 Er.	66.63	68.36	83.95	43.31	3.68	32.42	45.46
Tanque congelador N° 3 Cnas. 50-56 Br.	71.16	73.01	89.66	46.26	3.61	29.05	44.76
Tanque congelador N° 3 Cnas. 50-56 Er.	71.16	73.01	89.66	46.26	3.61	29.05	44.76
Tanque congelador N° 4 Cnas. 44-50 Br.	67.49	69.25	85.04	43.87	3.52	25.90	41.58
Tanque congelador N° 4 Cnas. 44-50 Er.	67.49	69.25	85.04	43.87	3.52	25.90	41.58
Tanque congelador N° 5 Cnas. 38-44 Br.	69.86	71.68	88.03	45.41	3.42	22.59	40.21
Tanque congelador N° 5 Cnas. 38-44 Er.	69.86	71.68	88.03	45.41	3.42	22.59	40.21
Tanque congelador N° 6 Cnas. 32-38 Br.	73.32	75.23	92.39	47.66	3.48	19.32	47.81
Tanque congelador N° 6 Cnas. 32-38 Er.	73.32	75.23	92.39	47.66	3.48	19.32	47.81
Tanque congelador N° 7 Cnas. 26-32 Br.	66.88	68.62	84.27	43.47	3.54	16.10	46.08
Tanque congelador N° 7 Cnas. 26-32 Er.	66.88	68.62	84.27	43.47	3.54	16.10	46.08
Tanque congelador N° 8 Cnas. 20-26 Br.	59.93	61.49	75.51	38.96	3.72	12.89	43.17
Tanque congelador N° 8 Cnas. 20-26 Er.	59.93	61.49	75.51	38.96	3.72	12.69	43.17
Tanque congelador N° 9 Cnas. 8-20 Br.	89.25	91.57	112.46	58.02	4.07	7.54	78.79
Tanque congelador N° 9 Cnas. 8-20 Er.	89.25	91.57	112.46	58.02	4.07	7.54	78.79

En el gráfico siguiente, se muestran las curvas para calcular el volumen y la altura del centro de gravedad del tanque congelador N° 3. Para ello se debe entrar en la ordenada con el valor de la sonda cuando dicho tanque no se encuentra lleno. Cuadro 8.

Cuadro 8. GRAFICO DEL TANQUE CONGELADOR No. 3 CNAS. 50-56 BR.-ER.



14.11.7. Instrucciones al Patrón o Capitán

A continuación se transcriben las instrucciones más importantes para la seguridad del buque y sus tripulantes. Aunque estas disposiciones están dirigidas al Patrón o Capitán de la nave, se deben hacer extensivas a todos los Oficiales y gente de mar que forman la tripulación, por supuesto dentro de las limitaciones de cada cargo.

a) El cumplimiento de los criterios de Estabilidad no asegura la inmunidad del Buque a la zozobra en cualquier circunstancia, ni exime al Capitán de sus responsabilidades. Los capitanes deben tener prudencia y buen sentido marinero, prestando atención al estado de la mar, estación del año, previsiones del tiempo y zona en la que navega el Buque.
b) Se cuidará que la estiba de la carga se realice de modo que puedan satisfacer los criterios de Estabilidad. En caso de necesidad puede admitirse para ello el empleo de lastre.
c) Todas las puertas de acceso y otras aberturas a través de las cuales puede entrar agua en el casco, casetas, castillo, etc., se cerrarán convenientemente en caso de mal tiempo, y para ello todos los dispositivos necesarios se mantendrán a bordo en un buen estado y listos para su empleo.
d) Las tapas planas de escotillas y escotillones de cubierta, se mantendrán cerradas de modo conveniente cuando no se empleen durante la pesca.
e) Todas las tapas ciegas portátiles se conservarán en buen estado y serán cerradas con seguridad en caso de mal tiempo.
f) Todo el aparejo de pesca y otros pesos importantes, deberán arrancharse convenientemente lo más bajo que sea posible cuando no se utilicen.
g) Deberá cuidarse durante las maniobras, que el tiro del aparejo de pesca no produzca una escora excesiva que pueda tener un efecto perjudicial sobre la Estabilidad; por ejemplo, cuando se izan las redes por medio de un halador o cuando la red se arrastre quede enganchada en el fondo del mar.
h) Los dispositivos para la descarga rápida, o echazón de la pesca sobre cubierta pesqueros en que pueda darse esta circunstancia; por ejemplo, arenqueros o sardineros se conservará en condiciones de funcionamiento para ser empleados cuando sea necesario.
i) Las portas de desagüe provistas de dispositivos de cierre se mantendrán siempre en buenas condiciones de funcionamiento y no deberán estar cerradas más que el tiempo imprescindible exigido por las faenas de pesca.
j) Se cuidará en todo momento que el número de tanques parcialmente llenos sea mínimo.
k) Deberán seguirse las instrucciones que existan relativas al llenado de los tanques de lastre de agua salada, recordando siempre que los tanques parcialmente llenos afectan desfavorablemente a la Estabilidad y pueden ser peligrosos.
l) En caso de mal tiempo, deberán cerrarse y asegurarse los dispositivos de cierre previstos en los tubos de aireación de los tanques de combustible.
m) El gobierno automático y fijo presenta el peligro de impedir la realización de una

maniobra rápida que pueda ser necesaria en caso de mal tiempo.

n) Deberán tenerse en cuenta todos los peligros de la navegación con mar de popa o de aleta. Si se produce una escora o un movimiento de guiñada excesivo, se reducirá la velocidad como primera precaución.

o) En todas las condiciones de carga, se cuidará que el buque conserve un franco bordo adecuado para su seguridad, en ningún caso inferior al mínimo asignado.

p) Se prestará especial atención a la formación de hielo en cubiertas, superestructuras y arboladura, y se procurará eliminar el hielo acumulado por todos los medios posibles.

q) Los consumos se tomarán simultáneamente de tanques simétricos (Br. y Er.), no comenzándose a consumir de una pareja de tanques hasta no haber agotado totalmente los precedentes.

r) Asimismo, las cubas se llenarán y vaciarán siempre de forma simétrica (Br. y Er. simultáneamente), de forma que no se originen escoras.

Además de las instrucciones descritas anteriormente, vienen otras para el manejo de los tanques de combustible, agua dulce, aceite y de las cubas de congelar el pescado.

El atunero «Aratz» no tiene tanques antibalances. En aquellos buques que los poseen se utilizan para amortiguar los balances y que éstos no sean tan pronunciados. En el Cap. XIX se describen los principios e instrucciones para el uso de los tanques antibalances de un atunero llamado «Andrade» de 225 pies de eslora. Los tanques son construidos de acuerdo al desplazamiento de cada buque en particular, con excepción que sean buques gemelos y por lo tanto no se deben usar los gráficos de dichos tanques para otros buques.

NOTA: Con referencia a los Cuadros Nos. 1, 3, 5 y 7 de los tanques y doble fondos que se destinan a líquidos (combustible, agua potable, aceite, agua de mar o salmuera), en la columna donde dice *Volumen total*, se refiere al volumen bruto o la capacidad del tanque sin tener en cuenta los elementos estructurales que lo disminuyen, tales como cuadernas, varengas, refuerzos, etc.; la columna que expresa *Volumen 2% hierros*, equivale al volumen grano; en la columna que dice *Volumen 2% expac.*, corresponde al volumen grano menos el margen de expansión, el cual es un margen de seguridad que se le deja a los tanques, principalmente a los de combustibles. Ver Apéndice 2.

EJEMPLO Nº 71. El buque «Aratz» se encuentra, a la llegada a puerto, en la siguiente condición: 10% de consumos y plena carga de pescado congelado, como se detalla en su distribución en el Cuadro A.

Se pide:

1º.) Desplazamiento

2º.) Calado en las marcas

3º.) Curvas de la estabilidad estática y dinámica

4º.) Comprobar la estabilidad mediante el criterio de O.M.I. para pesqueros de esloras mayores de 24 metros.

DETERMINACION DEL DESPLAZAMIENTO Y DEL C.G.

CUADRO A

EJEMPLO Nº 71

DENOMINACION DE LOS PESOS QUE COMPONEN EL DESPLAZAMIENTO: ROSCA, CARGA, CONSUMO, LASTRE, ETC.	① Peso Tm.	② $\overline{Kg}$ m.	③=①x② Momento vertical Tm.m.	④ $\overline{Ppp.g}$ m.	⑤=①x④ Momento longitud Tm.m.	⑥ Inercia i_{m^4}	⑦ Densidad δ	⑧=⑥x⑦ $i \cdot \delta$ Tm. m.
BUQUE EN ROSCA	1260.77	5.86	7399.45	28.13	35467.98	—	—	—
Tripulación y efectos	3.00	10.50	31.50	36.90	110.70			
Aparejos y redes	20.00	9.50	190.00	4.80	96.00			
Pañoles	2.00	7.10	14.20	28.05	56.10			
T. Servicio diario gas oil	9.70	6.87	66.63	36.03	349.49			
Víveres	0.40	9.30	3.72	35.60	14.24			
T. de vino	0.50	9.30	4.65	36.80	18.40			
T. de aceite vegetal	0.20	9.25	1.85	37.35	7.47			
Rasel proa T. seco Cnas. 96 Pr. Ctr.								
D. Fondo No. 1 gas oil Cnas. 50-70 Br.-Er.								
D. Fondo No. 2 gas oil Cnas. 32-50 Br.-Er.	22.57	0.32	7.22	22.86	515.95	206.5	0.8	175.5
D. Fondo No. 3 gas oil Cnas. 20-32 Ctr.								
T. Vert. popa gas oil Cnas. 2-8 Br.-Er.								
Rasel popa gas oil Cnas. 6-2 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce, Cnas. 84-92 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce Cnas. 71-84 Ctr. Br.	7.15	0.50	3.57	41.97	300.08	35.4	1.0	35.4
T. Aceite entrepuente Cnas. 70-74 Br.	0.30	7.31	2.19	39.59	11.87	0.1	0.9	0.1
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 75-82 Er.	0.77	1.89	1.45	42.45	32.68	0.8	0.9	0.7
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 70-75 Er.	1.12	1.79	2.00	39.65	44.40	3.0	0.9	2.8
T. Popa queroseno	1.68	5.90	9.91	6.39	10.73	1.9	0.8	1.5
T. Cong. No. 1 Pes. Cong. Cnas. 62-70 Br.-Er.	57.36	3.78	216.82	35.87	2057.50	28.5		
T. Cong. No. 2 Pes. Cong. Cnas. 56-62 Br.-Er.	86.62	3.68	318.76	32.42	2808.22	90.9		
T. Cong. No. 3 Pes. Cong. Cnas. 50-56 Br.-Er.	92.51	3.61	333.96	29.05	2687.41	89.5		
T. Cong. No. 4 Pes. Cong. Cnas. 44-50 Br.-Er.	87.74	3.52	303.84	25.90	2272.46	83.1		
T. Cong. No. 5 Pes. Cong. Cnas. 38-44 Br.-Er.	90.82	3.42	310.60	22.59	2051.62	80.4		
T. Cong. No. 6 Pes. Cong. Cnas. 32-38 Br.-Er.	95.32	3.48	331.71	19.32	1841.58	95.6		
T. Cong. No. 7 Pes. Cong. Cnas. 26-32 Br.-Er.	86.94	3.54	307.76	16.10	1399.73	92.1		
T. Cong. No. 8 Pes. Cong. Cnas. 20-26 Br.-Er.	77.91	3.72	289.82	12.69	988.67	86.3		
T. Cong. No. 9 Pes. Cong. Cnas. 8-20 Br.-Er.	116.03	4.07	472.24	7.54	874.85	157.5		
	2121.41		10.628.92		54018.21			216.2
	$\sum$ ①		$\sum$ ③		$\sum$ ⑤			$\sum$ ⑧

DESPLAZAMIENTO $D = \sum ① = 2121.41$ Tm.

$\overline{KG} = \frac{\sum ③}{①} = \frac{10628.92}{2121.41} = 5.01$ m.

INERCIA x DENSIDAD $i \cdot \delta = \sum ⑧ = 216.2$ Tm.m

$\overline{Ppp.G} = \frac{\sum ⑤}{①} = \frac{54018.21}{2121.41} = 25.46$ m

CUADRO B

EJEMPLO N° 71

Datos

Desplazamiento (D) = 2.121,41 Tm.
Altura del c. de g. G ($\overline{KG}$) = 5.010 m.
Distancia del c. de g. G a la Ppp. ($\overline{Ppp.G}$) = 25,463 m.
Sumatoria de los momentos de superficies libres por densidad ($\Sigma i \cdot \delta$) = 216,2 Tm.m.

Con el valor del desplazamiento se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Calado de hidrostáticas (Ch) = 5,073 m.

Con este calado se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Altura del metacentro longitudinal ($\overline{KM}_L$) = 63,270 m.
Altura del metacentro transversal ($\overline{KM}$) = 5,472 m.
Distancia del centro de carena a la Ppp. (Ppp.C) = 26,379 m.
Distancia del c. de g. de la flotación a la Ppp. (Ppp.F) = dpp = 23,853 m.

Cálculo de calados:

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\overline{CG} \times D}{Mu} = \frac{\left[(\overline{Ppp.G} - \overline{Ppp.C}) \cdot D\right]}{\frac{D \times GM_L}{100 \times E}} \text{ (*)}$$

$$\text{Asiento (A)} = \frac{[-25,463 - (-26,379)]\ 2.121,41}{22,03} = +88,2 \text{ cm.}$$

(*) (+) apopado
(−) aproado

$$\text{Alteración a popa (app)} = \frac{A}{E} \cdot dpp = \frac{0,882}{56,10} \times 23,853 = 0,375 \text{ m.}$$

Alteración a proa (apr) = A − app = 0,882 − 0,375 = 0,507 m.
Asiento total (At) = A + A construcción = 0,882 + 1,20 = 2,082 m.
Calado s/base en la Ppr (Cbpr) = Ch ± 0,60 − apr = 5,073 − 0,60 − 0,507 = 3,966 m.
Calado s/base en la Ppp (Cbpp) = Ch ∓ 0,60 + app = 5,073 + 0,60 + 0,375 = 6,048 m.
Calado completo en la Ppr (Ccpr) = Cbpr + 0,324 = 3,966 + 0,324 = 4,290 m.
Calado completo en la Ppp (Ccpp) = Cbpp + 0,324 = 6,048 + 0,324 = 6,372 m.

$$\text{Calado completo en la maestra (Cc } \mathbb{M}) = \frac{Ccpr + Ccpp}{2} = \frac{4,290 + 6,372}{2} = 5,331 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de proa (Cmpr)} = Ccpr + \frac{At}{E} \times 0,55 = 4,290 + 0,020 = 4,310 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de popa (Cmpp)} = Ccpp - \frac{At}{E} \times 3,30 = 6,372 - 0,122 = 6,250 \text{ m.}$$

Cálculo de la estabilidad inicial:

Altura metacéntrica transversal ($\overline{GM}$) = $\overline{KM} - \overline{KG}$ = 5,472 − 5,010 = 0,462 m.

$$\text{Corrección por superficie libre (c)} = \frac{\Sigma i \cdot \delta}{D} = \frac{216,2}{2121,41} = 0,102 \text{ m.}$$

Altura metacéntrica corregida ($\overline{GMc}$) = $\overline{GM} - c$ = 0,462 − 0,102 = 0,360 m.

NOTA: $\overline{GMc}$ deberá resultar siempre *mayor de 0,35 m.*

(*) Ver Nota del epígrafe 11-6.

MOMENTOS ESCORANTES POR SUPERFICIE LIBRE DE TANQUES NO EXCEPTUADOS. = Ms.l

CUADRO C

EJEMPLO N° 71

Tabla de coeficientes k:
donde:
m = Manga máxima del tanque
p = Altura o puntal máximo del tanque

Para valores intermedios de
m/p se interpola linealmente.

m/p \ θ°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
20	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
5	0.07	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05
3	0.04	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06
2	0.03	0.06	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08
1.5	0.02	0.05	0.07	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10
1	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.13	0.13
0.75	0.01	0.02	0.04	0.05	0.08	0.12	0.15	0.16
0.50	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.16	0.21
0.30	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.11	0.27
0.20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.27
0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.14

DESIGNACION DE TANQUES	NOM. ESC. PARA k=1 M_1	10°		20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°	
		k_{10}	$k_{10} \times M_1$	k_{20}	$k_{20} \times M_1$	k_{30}	$k_{30} \times M_1$	k_{40}	$k_{40} \times M_1$	k_{50}	$k_{50} \times M_1$	k_{60}	$k_{60} \times M_1$	k_{70}	$k_{70} \times M_1$	k_{80}	$k_{80} \times M_1$
D. Fondo N° 2 gas oil Cnas. 32-50 Br. Er.	264.796	0.072	19.06	0.110	29.13	0.110	29.13	0.110	29.13	0.100	26.48	0.090	23.83	0.070	18.54	0.050	13.24
T. Cong. N° 9 Pes. Cong. Cnas. 8-20 Br. Er.	936.352	0.015	14.05	0.040	37.45	0.060	56.18	0.085	79.59	0.105	98.32	0.115	107.68	0.120	112.36	0.115	107.68
			33.11		66.58		85.31		108.72		124.80		131.51		130.90		120.92
			$\leq k_{10} \times M_1$		$\leq k_{20} \times M_1$		$\leq k_{30} \times M_1$		$\leq k_{40} \times M_1$		$\leq k_{50} \times M_1$		$\leq k_{60} \times M_1$		$\leq k_{70} \times M_1$		$\leq k_{80} \times M_1$

Correcciones $\overline{GZ}$ por momentos escorantes:

$$\Delta\overline{GZ}_{10^\circ} = \frac{\leq k_{10^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.016}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{20^\circ} = \frac{\leq k_{20^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0,031}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{30^\circ} = \frac{\leq k_{30^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.040}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{40^\circ} = \frac{\leq k_{40^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0,051}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{50^\circ} = \frac{\leq k_{50^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.059}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{60^\circ} = \frac{\leq k_{60^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0,062}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{70^\circ} = \frac{\leq k_{70^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.062}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{80^\circ} = \frac{\leq k_{80^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0,057}{} \text{ m.}$$

CALCULO DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y ESTABILIDAD DINAMICA

CUADRO D

EJEMPLO Nº 71

Datos:

Desplazamiento D = 2121,41 Tm.
Altura c. de g. $\overline{KG}$ = 5,010 m.

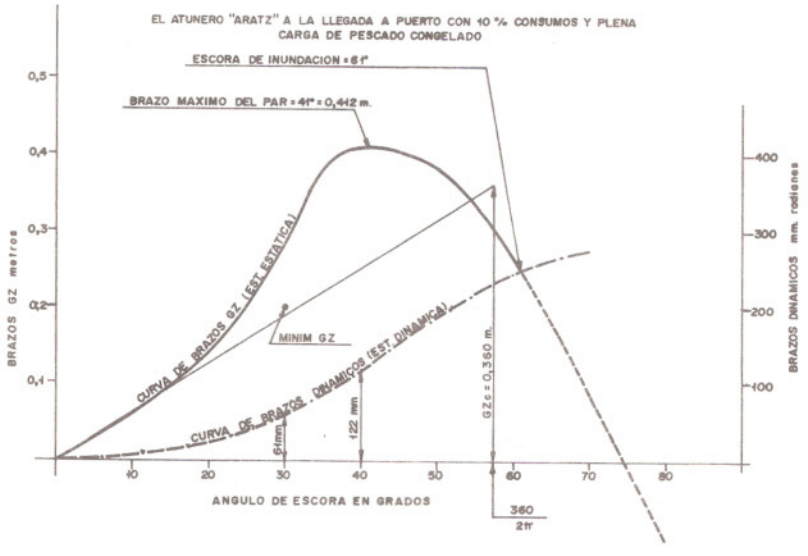
Con el desplazamiento obtenemos de las curvas cruzadas los valores $\overline{KN}$ y de la curva del ángulo de inundación θ_f.

ESTABILIDAD ESTATICA								ESTABILIDAD DINAMICA			
(1) θ°	(2) $\overline{KN}$ m.	(3) sen θ	(4) $\overline{KG}$. sen θ m.	(5)=(2)-(4) $\overline{GZ}$ m.	(6) $\Delta\overline{GZ}$ m.	(7) $\Delta\overline{GZ}$ por asiento m.	(8)(5)(6)(7) $\overline{GZ}c$ m.	(9) Ordenada media mm.	(10) $\frac{10.2\pi \text{ rad.}}{360}$ 0,1745	(11)(9)(10) Dinámica parcial mm.rad.	(12) Dinámica total mm.rad.
0°	—	0.0000	—	—	—	—	—	—	"	—	—
10°	0,950	0.1736	0,870	0,080	−0,016	—	0,064	32	"	6	6
20°	1,883	0.3420	1,713	0,170	−0,031	—	0,139	101	"	18	24
30°	2,834	0.5000	2,505	0,329	−0,040	—	0,289	214	"	37	61
40°	3,682	0.6428	3,220	0,462	−0,051	—	0,411	350	"	61	122
50°	4,278	0.7660	3,838	0,440	−0,059	—	0,381	396	"	69	191
60°	4,666	0.8660	4,339	0,327	−0,062	—	0,265	323	"	56	247
70°	4,857	0.9397	4,708	0,149	−0,062	—	0,087	176	"	31	278
80°	4,885	0.9848	4,934	−0,049	−0,057	—	−0,106		"		

Angulo de inundación θ_f = 61°

NOTA Las correcciones de $\overline{GZ}$ por asiento (columna 7) serán:
- Constante e = 0,02 para todos los ángulos si el asiento difiere del de Proyecto (1,2 m.) en más de 1 m.
- Nulas en los demás casos.

EJEMPLO Nº 71
CUADRO E



CRITERIOS DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS MAYORES DE 24 METROS

Estabilidad Estática

Condiciones:
a) $\overline{GM}c$ = 360 mm. > 350 mm.
b) $\overline{GZ}$ 30° = 289 mm. > 200 mm.
c) $\overline{GZ}$ máx. = 41° > 30°

Estabilidad Dinámica

a) Brazo dinámico a 30° =
= 61 mm. rad. > 55 mm.rad.
b) Brazo dinámico a 40° =
= 122 mm.rad. > 90 mm.rad.
c) Diferencia entre:
Brazo dinámico 40° = 122 mm.rad.
— Brazo dinámico 30° = 61 mm.rad.

Diferencia = 61 mm.rad.

Diferencia brazos dinámicos > 30 mm.rad.
θ_f = 61° > 40°

Respuesta:
1°.) Desplazamiento = 2121.41 Tm
2°.) Calados en las marcas: Cmpr = 4.310 m. ; Cmpp. = 6.250 m.
3°.) Las curvas de estabilidad estática y dinámica, ver en Cuadro E
4°.) El buque cumple con todas las condiciones del criterio.

EJEMPLO N° 72. El buque «Aratz» se halla en la zona de pesca con un 35% de los consumos y en plena carga, con los pesos distribuidos según el Cuadro A. En estas condiciones, se realiza la maniobra de cerco y se vira la red mediante la tracción del halador.

Se pide:

1°.) Calados en las marcas

2°.) Trazar las curvas de estabilidad estática y dinámica

3°.) Escora producida por la tracción del halador, analítica y gráfica

4°.) Comprobar la estabilidad mediante el criterio de O.M.I. para pesqueros.

Datos del halador:

Fuerza vertical que ejerce en la tracción = 12 Tm.

Coordenadas del rodillo del halador: $\overline{Kg} = 22{,}50$ m.

$\overline{Ppp.g} = 8{,}20$ m.

$\overline{¢g} = 6{,}80$ m.

Solución:

El Cuadro guía A difiere de los anteriores ejemplos Nos. 68 y 71, en que la fuerza vertical del halador de 12 Tm. hace aumentar el desplazamiento en esa cantidad cuando trabaja el halador, por tal motivo se debe considerar el desplazamiento D = 2.331,24 Tm.. La fuerza vertical que ejerce el halador actuará en la posición del rodillo del halador, por lo tanto va a producir una modificación en la estabilidad, escora y asiento del buque.

Los Cuadros B y C se resuelven de la misma manera que la explicada en los ejemplos anteriores.

El Cuadro D se opera como los anteriores, pero para hallar la curva de brazos de la estabilidad estática corregida por el efecto del halador, se deben restar los brazos escorantes producidos por el halador. A continuación se calculan los brazos escorantes producidos por el halador:

Momento escorante = $p.d_t.\cos\theta$ (Ver Cap. IX, epígrafe 9-4)

Momento escorante = $12 \times 6{,}80 \times \cos\theta$

$$\text{Brazo escorante} = \frac{\text{Momento escorante}}{\text{Desplazamiento}}$$

Angulo de escora θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Momento escorante	81.60	80.36	76.68	70.67	62.51	52.45 Tm.m
Brazo escorante	0.035	0.034	0.033	0.030	0.027	0.022 m.

La curva de brazos de estabilidad estática corregida por el efecto del halador no se ha trazado en el Cuadro E.

Cálculo de la escora

La escora roducida por la tracción del halador, se calcula analíticamente mediante la fórmula:

$$Tg.\ \theta = \frac{p \cdot d_t}{D \cdot \overline{GM}c} = \frac{12 \times 6{,}80}{2331{,}24 \times 0{,}549} = 0{,}0637574$$

$\theta = 3°38.9'$ (Esta escora se producirá hacia la banda en que se encuentra el rodillo del halador y cuando la fuerza actúe constante).

La escora anteriormente calculada, se obtiene gráficamente en el Cuadro E en la abscisa correspondiente a la intercepción de la curva de brazos $\overline{GZ}c$ y la curva de brazos escorantes. Ver Cuadro E.

DETERMINACION DEL DESPLAZAMIENTO Y DEL C G

CUADRO A

EJEMPLO N° 72

DENOMINACIÓN DE LOS PESOS QUE COMPONEN EL DESPLAZAMIENTO: ROSCA, CARGA, CONSUMO, LASTRE, ETC.	(1) Peso Tm.	(2) Kg/m	(3)=(1)x(2) Momento vertical Tm.m.	(4) $\overline{Ppp.g}$ m.	(5)=(1)x(4) Momento longitud Tm.m	(6) Inercia l m^4	(7) Densidad δ	(8)=(6)x(7) $i\,\delta$ Tm.m.
BUQUE EN ROSCA	1260.77	5.86	7399.45	28.13	35467.98	—	—	—
Tripulación y efectos	3.00	10.50	31.50	36.90	110.70			
Aparejos y redes	20.00	9.50	190.00	4.80	96.00			
Pañoles	2.00	7.10	14.20	28.05	56.10			
T. Servicio diario gas oil	9.70	6.87	66.63	36.03	349.49			
Víveres	1.40	9.30	13.02	35.60	49.84			
T. de vino	1.75	9.30	16.27	36.80	64.40			
T. de aceite vegetal	0.70	9.25	6.47	37.35	26.14			
Rasel proa T. seco Cnas. 96 Pr. Ctr.								
D. Fondo No. 1 gas oil Cnas. 50-70 Br.-Er.	26.29	0.40	10.51	32.75	860.99	186.0		
D. Fondo No. 2 gas oil Cnas. 32-50 Br.-Er.	58.58	0.49	28.70	22.86	1339.13	206.5	0.8	175.5
D. Fondo No. 3 gas oil Cnas. 20-32 Ctr.	18.39	0.34	6.25	14.88	273.64	88.2		
T. Vert. popa gas oil Cnas. 2-8 Br.-Er.								
Rasel popa gas oil Cnas. 6-2 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce, Cnas. 84-92 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce Cnas. 71-84 Ctr. Br.	25.04	1.10	27.54	41.97	1050.92	35.4	1.0	35.4
T. Aceite entrepuente Cnas. 70-74 Br.	1.06	7.31	7.74	39.59	41.96	0.1	0.9	0.1
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 75-82 Er.	2.70	1.89	5.10	42.45	114.61	0.8	0.9	0.7
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 70-75 Er.	3.92	1.79	7.01	39.65	155.42	3.0	0.9	2.8
T. Popa queroseno	5.88	6.10	35.86	6.39	37.57	1.9	0.8	1.5
T. Cong. No. 1 Pes. Cong. Cnas. 62-70 Br.-Er.	57.36	3.78	216.82	35.87	2057.50	28.5		
T. Cong. No. 2 Pes. Cong. Cnas. 56-62 Br.-Er.	86.62	3.68	318.76	32.42	2808.22	90.9		
T. Cong. No. 3 Pes. Salm. Cnas. 50-56 Br.-Er.	179.32	3.61	647.34	29.05	5209.24	89.5	1.2	112.7
T. Cong. No. 4 Pes. Cong. Cnas. 44-50 Br.-Er.	87.74	3.52	308.84	25.90	2272.46	83.1		
T. Cong. No. 5 Pes. Cong. Cnas. 38-44 Br.-Er.	90.82	3.42	310.60	22.59	2051.62	80.4		
T. Cong. No. 6 Pes. Cong. Cnas. 32-38 Br.-Er.	95.32	3.48	331.71	19.32	1841.58	95.6		
T. Cong. No. 7 Pes. Cong. Cnas. 26-32 Br.-Er.	86.94	3.54	307.76	16.10	1399.73	92.1		
T. Cong. No. 8 Pes. Cong. Cnas. 20-26 Br.-Er.	77.91	3.72	289.82	12.69	988.67	86.3		
T. Cong. No. 9 Pes. Cong. Cnas. 8-20 Br.-Er.	116.03	4.07	472.24	7.54	874.86	157.5		
Tracción del Halador	12.00	22.50	270.00	8.20	98.40			
	2331.24		11340.24		59697.26			329.0
	Σ (1)		Σ (3)		Σ (5)			Σ (8)

DESPLAZAMIENTO $D = \Sigma(1) =$ 2331.24 Tm

$\overline{KG} = \frac{\Sigma(3)}{\Sigma(1)} = \frac{11340.24}{2331.24} =$ 4.86 m.

INERCIA x DENSIDAD $i\,\delta = \Sigma(8) =$ 329.0 Tm.m

$\overline{Ppp.G} = \frac{\Sigma(5)}{\Sigma(1)} = \frac{59697.26}{2331.24} =$ 25.60 m.

CALCULO DE CALADOS Y ESTABILIDAD INICIAL

CUADRO B EJEMPLO N° 72

Datos:

Desplazamiento (D) = 2.331,24 Tm.
Altura del c. de g. G ($\overline{KG}$) = 4,86 m.
Distancia del c. de g. G a la Ppp. ($\overline{Ppp.G}$) = 25,61 m.
Sumatoria de los momentos de superficies libres por densidad ($\Sigma i.\ \delta$) = 329.0 Tm.m.

Con el valor del desplazamiento se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Calado de hidrostáticas (Ch) = 5,43 m.

Con este calado se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Altura del metacentro longitudinal ($\overline{KM}_L$) = 61,46 m.
Altura del metacentro transversal ($\overline{KM}$) = 5,55 m.
Distancia del centro de carena a la Ppp. (Ppp.C) = 26,15 m.
Distancia del c. de g. de la flotación a la Ppp. (Ppp.F) = dpp = 23,74 m.

Cálculo de calados:

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\overline{CG} \times D}{Mu} = \frac{\left[(\overline{Ppp.G} - \overline{Ppp.C}) \cdot D\right](*)}{\dfrac{D \times GM_L}{100 \times E}}$$

$$\text{Asiento (A)} = \frac{[-25{,}61 - (-26{,}15)] \cdot 2.331{,}24}{23{,}52} = +53{,}5 \text{ cm.}$$

(+) apopado
(−) aproado

$$\text{Alteración a popa (app)} = \frac{A}{E} \cdot dpp = \frac{0{,}535}{56{,}10} \times 23{,}74 = 0{,}226 \text{ m.}$$

Alteración a proa (apr) = A − app = 0,535 − 0,226 = 0,308 m.
Asiento total (At) = A + A construcción = + 0,535 + 1,20 = 1,735 m (+)
Calado s/base en la Ppr (Cbpr) = Ch − 0,60 ± apr = 5,43 − 0,60 − 0,308 = 4,52 m.
Calado s/base en la Ppp (Cbpp) = Ch + 0.60 ∓ app = 5.43 + 0,60 + 0,226 = 6,26 m.
Calado completo en la Ppr (Ccpr) = Cbpr + 0.324 = 4,52 + 0,324 = 4,84 m.
Calado completo en la Ppp (Ccpp) = Cbpp + 0.324 = 6,26 + 0,324 = 6,58 m.

$$\text{Calado completo en la maestra (Cc III)} = \frac{Ccpr + Ccpp}{2} = \frac{4{,}84 + 6{,}58}{2} = 5{,}71 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de proa (Cmpr)} = Ccpr + \frac{At}{E} \times 0.55 = 4{,}84 + 0{,}02 = 4{,}86 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de popa (Cmpp)} = Ccpp - \frac{At}{E} \times 3.30 = 6{,}58 - 0{,}10 = 6{,}48 \text{ m.}$$

Cálculo de la estabilidad inicial:

Altura metacéntrica transversal ($\overline{GM}$) = $\overline{KM} - \overline{KG}$ = 5.555 − 4,864 = 0,690 m.

$$\text{Corrección por superficie libre (c)} = \frac{\Sigma\, i.\ \delta}{D} = \frac{329.0}{2331{,}24} = 0{,}141 \text{ m.}$$

Altura metacéntrica corregida ($\overline{GM}c$) = $\overline{GM} - c$ = 0,690 − 0,141 = 0,549 m.

NOTA: $\overline{GM}c$ deberá resultar siempre *mayor de 0.35 m.*

(*) Ver Nota del epígrafe 11-6.

MOMENTOS ESCORANTES POR SUPERFICIE LIBRE DE TANQUES NO EXCEPTUADOS. = Ms.l

CUADRO C

EJEMPLO Nº 72

Tabla de coeficientes k:
donde:
m = Manga máxima del tanque
p = Altura o puntal máximo del tanque

Para valores intermedios de
m/p se interpola linealmente.

m/p \ θ°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
20	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
5	0.07	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05
3	0.04	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06
2	0.03	0.06	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08
1,5	0.02	0.05	0.07	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10
1	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.13	0.13
0.75	0.01	0.02	0.04	0.05	0.08	0.12	0.15	0.16
0.50	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.16	0.21
0.30	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.11	0.27
0.20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.27
0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.14

DESIGNACION DE TANQUES	NOM. ESC. PARA k=1 M_1	10°		20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°	
		k_{10}	$k_{10} \times M_1$	k_{20}	$k_{20} \times M_1$	k_{30}	$k_{30} \times M_1$	k_{40}	$k_{40} \times M_1$	k_{50}	$k_{50} \times M_1$	k_{60}	$k_{60} \times M_1$	k_{70}	$k_{70} \times M_1$	k_{80}	$k_{80} \times M_1$
D. Fondo Nº 1 gas oil Cnas. 50-70 Br. Er.	294.476	0.072	21.20	0.110	32.39	0.110	32.39	0.110	32.39	0.100	29.45	0.090	26.50	0.070	20.61	0.050	14.72
T. Conq. Nº 3 Pesc. Salm. Cnas. 50-56 Br. Er.	961.874	0.015	14.43	0.040	38.47	0.060	57.71	0.085	81.76	0.105	101.00	0.115	110.62	0.120	115.42	0.115	110.62
			35.63		70.86		90.10		114.15		130.45		137.12		136.03		125.34
			$\sum k_{10} \times M_1$		$\sum k_{20} \times M_1$		$\sum k_{30} \times M_1$		$\sum k_{40} \times M_1$		$\sum k_{50} \times M_1$		$\sum k_{60} \times M_1$		$\sum k_{70} \times M_1$		$\sum k_{80} \times M_1$

Correcciones $\overline{GZ}$ por momentos escorantes:

$$\Delta\overline{GZ}_{10^\circ} = \frac{\sum k_{10^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.015}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{20^\circ} = \frac{\sum k_{20^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.030}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{30^\circ} = \frac{\sum k_{30^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.039}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{40^\circ} = \frac{\sum k_{40^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.049}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{50^\circ} = \frac{\sum k_{50^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.056}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{60^\circ} = \frac{\sum k_{60^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.059}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{70^\circ} = \frac{\sum k_{70^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.058}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{80^\circ} = \frac{\sum k_{80^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.054}{} \text{ m.}$$

CALCULO DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y ESTABILIDAD DINAMICA

CUADRO D

EJEMPLO Nº 72

Datos:

Desplazamiento D = 2331,24 Tm.
Altura c. de g. $\overline{KG}$ = 4,864 m.

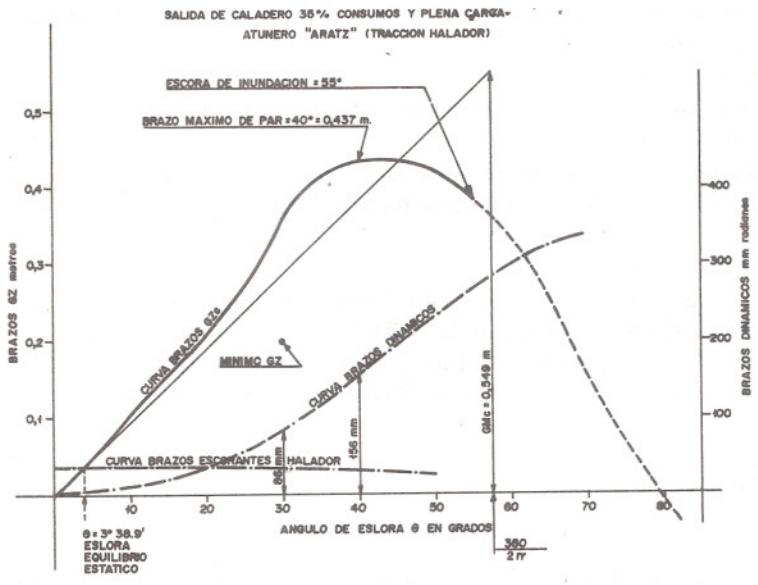
Con el desplazamiento obtenemos de las curvas cruzadas los valores $\overline{KN}$ y de la curva del ángulo de inundación θ_f.

ESTABILIDAD ESTATICA								ESTABILIDAD DINAMICA			
(1) θ°	(2) $\overline{KN}$ m.	(3) sen θ	(4) $\overline{KG}$. sen θ m.	(5)=(2)-(4) $\overline{GZ}$ m.	(6) $\Delta\overline{GZ}$ m.	(7) $\Delta\overline{GZ}$ por asiento m.	(8)(5)(6)(7) $\overline{GZ}$c m.	(9) Ordenada media mm.	(10) $\frac{10.2\pi \text{ rad.}}{360}$ 0,1745	(11)(9)(10) Dinámica parcial mm.rad.	(12) Dinámica total mm.rad.
0°	—	0.0000	—	—	—	—	—	—	"	—	—
10°	0,963	0.1736	0,845	0,118	−0,015	—	0,103	52	"	9	9
20°	1,903	0.3420	1,664	0,239	−0,030	—	0,209	156	"	27	36
30°	2,832	0.5000	2,432	0,400	−0,039	—	0,361	285	"	50	86
40°	3,613	0.6428	3,127	0,486	−0,049	—	0,437	399	"	70	156
50°	4,205	0.7660	3,726	0,479	−0,056	—	0,423	430	"	75	231
60°	4,605	0.8660	4,212	0,393	−0,059	—	0,334	378	"	66	297
70°	4,777	0.9397	4,571	0,206	−0,058	—	0,148	241	"	42	339
80°	4,840	0.9848	4,790	0,050	−0,054	—	−0,004		"		

Angulo de inundación θ_f = 55°

NOTA Las correcciones de $\overline{GZ}$ por asiento (columna 7) serán:
- Constante e = 0,02 para todos los ángulos si el asiento difiere del de Proyecto (1,2 m.) en más de 1 m.
- Nulas en los demás casos.

CUADRO E EJEMPLO N° 72



CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS MAYORES DE 24 METROS

Estabilidad Estática

Condiciones:

a) $\overline{GM}c = 549$ mm. > 350 mm.

b) $\overline{GZ}_{30°} = 361$ mm > 200 mm.

c) $\overline{GZ}_{máx.} = 40° > 30°$

Estabilidad Dinámica

a) Brazo dinámico a 30° =
= 86 mm.rád. > 55 mm.rad.

b) Brazo dinámico a 40° =
= 156 mm.rad. > 90 mm.rad.

c) Diferencia entre:
Brazo dinámico 40° = 156 mm.rad.
— Brazo dinámico 30° = 86 mm.rad.

Diferencia = 70 mm.rad.

Diferencia brazos dinámicos > 30 mm.rad.

$\theta_f = 55° > 40°$

Respuesta:

1°.) Calados en las marcas: Cmpr. = 4.86 m. ; Cmpp. = 6.48 m.

2°.) Las curvas de estabilidad estática y dinámica corregidas, ver en el Cuadro E

3°.) Escora producida por la tracción del halador es $\theta = 3°38,9'$, hacia la banda que está el rodillo del halador. La escora se puede ver en forma gráfica en el Cuadro E

4°.) El buque cumple con todas las condiciones del criterio.

EJEMPLO N° 73. El buque «Aratz» se halla en la zona de pesca con un 35% de los consumos y plena carga, distribuidos los pesos como muestra el Cuadro A. En estas condiciones se vira el cable o jareta de la red de cerco mediante la tracción de la maquinilla (güinche). Se pide:

1°.) Calados en las marcas

2°.) Trazar las curvas de estabilidad estática y dinámica corregidas por la tracción de la maquinilla

3°.) Hallar el ángulo de escora del equilibrio estático y dinámico cuando opere la maquinilla, siendo el ángulo que forma el cable o jareta con la horizontal de 60°.

Datos de la maquinilla:

Punto de aplicación de la fuerza en el pescante de pesca

Fuerza máxima de la maquinilla = 34 Tm.

Angulo α (alfa) que forma la fuerza de tracción con la horizontal = 60°

Coordenadas del punto de aplicación de la fuerza de tracción:

$\overline{Kg}$ ..... = 10,00 m.

$\overline{Ppp.g}$ ..... = 22,50 m.

$\overline{\text{¢ g}}$ ..... = 5,80 m.

Solución:

Al Cuadro guía A se agrega el peso equivalente a la fuerza de tracción máxima de la maquinilla, la cual va a afectar al desplazamiento del buque, estabilidad, calados y escora.

Al comienzo de la maniobra de cerco el ángulo de la dirección de la fuerza de tracción con la horizontal es casi nula (0°) y la tracción es aproximadamente la mitad por trabajar a la máxima velocidad al virar. El caso que nos planteamos, es cuando la dirección de la tracción es de 60° con la horizontal. Fig. XIV-8.

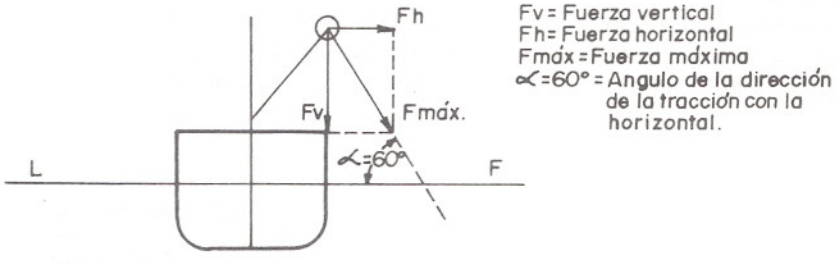


Fig. XIV - 12

La fuerza de tracción se puede descomponer en dos fuerzas, una horizontal y otra vertical.

Fuerza máxima de tracción de la maquinilla = F máx.

Componente horizontal de la fuerza = Fh

Componente vertical de la fuerza = Fv

Angulo de la dirección de la tracción con la horizontal = α = 60°

Fh = F máx. x cos α = 34 x cos 60° = 17,00 Tm.
Fv = F máx. x sen α = 34 x sen 60° = 29,44 Tm. = 29,4 Tm. aprox.

Estas fuerzas al accionar producirán un momento escorante que le provocará una escora mientras se vire. Al actuar estas fuerzas y escorarse el buque debido a la inercia o fuerza viva que posee en su balance, no se detendrá en la escora de equilibrio estático, sino que se detendrá cuando la velocidad en su balance se anula y por lo tanto también su inercia. En este ángulo de escora el buque quedará en equilibrio dinámico.

Veamos a continuación como se calcula la escora de equilibrio estático.

Sea la Fig. XIV-9 donde el buque «Aratz» accionado con la fuerza máxima de tracción de la maquinilla en el punto 0 y cuya dirección forma un ángulo α = 60° con la horizontal o línea de flotación L 1 F 1 debido a que el buque se escora un ángulo θ.

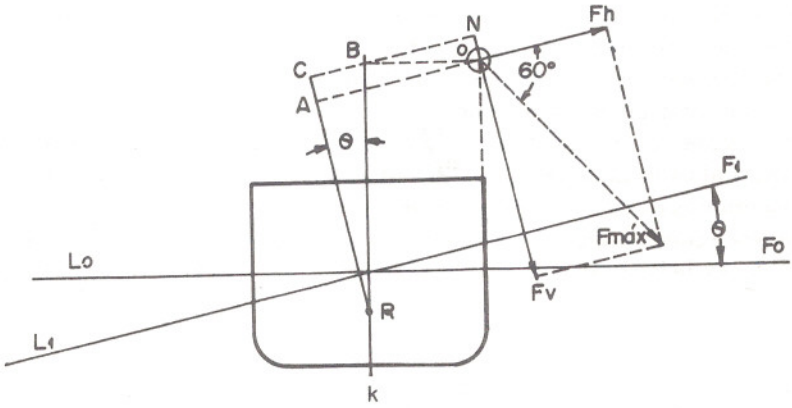


Fig. XIV-13

Sabiendo que:
$\overline{KB} = \overline{Kg} = 10{,}00$ m.
$\overline{0B} = \overline{¢g} = 5{,}80$ m.
$\overline{KR}$ = Cc ⌀ / 2 = Calado completo en la maestra / 2 = 5,755 / 2 = 2,878 m.
$\overline{RB} = \overline{KB} - \overline{KR} = 10{,}00 - 2{,}878 = 7{,}122$ m.
Momento escorante fuerza horizontal = Fh.$\overline{AR}$ = M esc. Fh
Momento escorante fuerza vertical = Fv.$\overline{BN}$ = M esc. Fv
M esc. Fh = Fh.$\overline{0R}$ = Fh($\overline{RB}$.cos θ − 0B.sen) =
= Fh.$\overline{RB}$.cos θ − Fh.$\overline{0B}$.sen θ = 17 x 7,122 . cos θ − 17 x 5,80 . sen θ =
= 121,074 . cos θ − 98,6 . sen
M esc. Fv = Fv.$\overline{BN}$ = Fv.$\overline{0B}$.cos θ = 29,50 x 5,80 x cos θ = 171,10 x cos θ

Para hallar los brazos escorantes debido a la tracción de la maquinilla se procede como sigue:

$$\text{Brazos escorantes} = \frac{\text{Momentos escorantes total}}{\text{Desplazamiento}}$$

Angulo θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°
M esc. Fv	171.10	168.50	160.78	148.18	131.07	109.98 Tm.m
M esc. Fh	121.07	102.11	80.05	55.55	29.37	2.29 Tm.m
M esc. total	292.17	270.61	240.83	203.73	160.44	112.27 Tm.m
Brazos esc.	0.124	0.115	0.102	0.087	0.068	0.048 m.

El valor de estos brazos escorantes, se llevan al gráfico del Cuadro E y se traza la curva de brazos escorantes por tracción de la maquinilla. La escora o ángulo de equilibrio estático se obtiene en la abscisa, en el valor correspondiente a la intercepción de la curva de brazos $\overline{GZ}c$ y la curva de brazos escorantes, siendo de 10.5°. Como este valor de la escora es mayor de 10° el metacentro generalmente cambia de posición, por ello no se calcula por la fórmula.

Como se puede apreciar el efecto de la maquinilla es mayor que el del halador que se calculó en el ejemplo anterior.

Para calcular la curva de brazos $\overline{GZ}$ corregida por el efecto de la maquinilla, se deben restar al valor de los brazos $\overline{GZ}c$ obtenidos en el Cuadro D los valores de los brazos escorantes calculados anteriormente.

Veamos a continuación la corrección de los brazos $\overline{GZ}c$ del Cuadro D (columna 8) por el efecto de los brazos escorantes causados por la tracción de la maquinilla.

Angulo θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°
$\overline{GZ}c$ Cuadro D	0	0.113	0.222	0.367	0.465	0.440 m.
Brazos esc.	0.124	0.115	0.102	0.087	0.068	0.048 m.
$\overline{GZ}$ corr. /maqui.	−0.124	−0.002	0.120	0.280	0.397	0.392 m.

Estos valores de los brazos corregidos por la tracción de la maquinilla, se grafican en el Cuadro E, obteniéndose la curva de brazos de estabilidad estática corregida por la tracción de la maquinilla.

Veamos a continuación como se calcula la escora de equilibrio dinámico.

El ángulo de equilibrio dinámico (Ver Cap. IX, epígrafe 9-5), se puede calcular trazando la curva dinámica de brazos adrizantes y la curva dinámica de brazos escorantes debido a la tracción de la maquinilla. En el punto donde se intercepten, se obtiene sobre la abscisa el valor del ángulo de equilibrio dinámico.

La curva de brazos escorantes dinámicos se calcula de la siguiente manera:

Angulos θ	Ordenada media en mm.	$10 \cdot \frac{2\pi \text{ rad.}}{360}$	Dinámica parcial en mm.rad.	Dinámica total en mm.rad.
0°	—	0.1745	—	—
10°	119.5	0.1745	21	21
20°	108.5	0.1745	19	40
30°	94.5	0.1745	16	56
40°	77.5	0.1745	14	70
50°	58.0	0.1745	10	80

Los valores calculados en la columna donde dice dinámica total en milímetros-radianes, se llevan al gráfico del Cuadro E y en la intercepción anteriormente dicha de las dos curvas dinámicas, se obtiene en la abscisa el ángulo de equilibrio dinámico el cual es de 21°.

DETERMINACION DEL DESPLAZAMIENTO Y DEL C.G.

CUADRO A

EJEMPLO N° 73

DENOMINACION DE LOS PESOS QUE COMPONEN EL DESPLAZAMIENTO: ROSCA, CARGA, CONSUMO, LASTRE, ETC	① Peso Tm	② $\overline{Kg}$ m	③=①×② Momento vertical Tm.m	④ $\overline{Ppp.g}$ m	⑤=①×④ Momento longitud Tm.m	⑥ Inercia i_x m^4	⑦ Densidad δ	⑧=⑥×⑦ $i_x \delta$ Tm.m
BUQUE EN ROSCA	1260.77	5.86	7390.45	28.13	35467.98	—	—	—
Tripulación y efectos	3.00	10.50	31.50	36.90	110.70			
Aparejos y redes	20.00	9.50	190.00	4.80	96.00			
Pañoles	2.00	7.10	14.20	28.05	56.10			
T. Servicio diario gas oil	9.70	6.87	66.63	36.03	349.49			
Víveres	1.40	9.30	13.02	35.60	49.84			
T. de vino	1.75	9.30	16.27	36.80	64.40			
T. de aceite vegetal	0.70	9.25	6.47	37.35	26.14			
Rasel proa T. seco Cnas. 96 Pr. Ctr.								
D. Fondo No. 1 gas oil Cnas. 50-70 Br.-Er.	26.29	0.40	10.51	32.75	860.99	186.0		
D. Fondo No. 2 gas oil Cnas. 32-50 Br.-Er.	58.58	0.49	28.70	22.86	1339.13	206.5	0.8	175.5
D. Fondo No. 3 gas oil Cnas. 20-32 Ctr.	18.39	0.34	6.25	14.88	273.64	88.2		
T. Vert. popa gas oil Cnas. 2-8 Br.-Er.								
Rasel popa gas oil Cnas. 6-2 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce. Cnas. 84-92 Ctr.								
Cra. Máquinas A. dulce Cnas. 71-84 Ctr. Br.	25.04	1.10	27.54	41.97	1050.92	35.4	1.0	35.4
T. Aceite entrepuente Cnas. 70-74 Br.	1.06	7.31	7.74	39.59	41.96	0.1	0.9	0.1
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 75-82 Er.	2.70	1.89	5.10	42.45	114.61	0.8	0.9	0.7
T. Cra. Máquinas aceite Cnas. 70-75 Er.	3.92	1.79	7.01	39.65	155.42	3.0	0.9	2.8
T. Popa querosено	5.88	6.10	35.86	6.39	37.57	1.9	0.8	1.5
T. Cong. No. 1 Pes. Cong. Cnas. 62-70 Br.-Er.	57.36	3.78	216.82	35.87	2057.50	28.5		
T. Cong. No. 2 Pes. Cong. Cnas. 56-62 Br.-Er.	86.62	3.68	318.76	32.42	2808.22	90.9		
T. Cong. No. 3 Pes. Salm. Cnas. 50-56 Br.-Er.	179.32	3.61	647.34	29.05	5209.24	89.5	1.2	112.7
T. Cong. No. 4 Pes. Cong. Cnas. 44-50 Br.-Er.	87.74	3.52	308.84	25.90	2272.46	83.1		
T. Cong. No. 5 Pes. Cong. Cnas. 38-44 Br.-Er.	90.82	3.42	310.60	22.59	2051.62	80.4		
T. Cong. No. 6 Pes. Cong. Cnas. 32-38 Br.-Er.	95.32	3.48	331.71	19.32	1841.58	95.6		
T. Cong. No. 7 Pes. Cong. Cnas. 26-32 Br.-Er.	86.94	3.54	307.76	16.10	1399.73	92.1		
T. Cong. No. 8 Pes. Cong. Cnas. 20-26 Br.-Er.	77.91	3.72	289.82	12.69	988.67	86.3		
T. Cong. No. 9 Pes. Cong. Cnas. 8-20 Br.-er.	116.03	4.07	472.24	7.54	874.86	157.5		
Tracción de la maquinilla	34.00	10.00	340.00	22.50	765.00			
	2353.24		11410.34		60363.86			329.0
	Σ ①		Σ ③		Σ ⑤			Σ ⑧

DESPLAZAMIENTO $D = \Sigma ① = 2353,24$ Tm.

$\overline{KG} = \frac{\Sigma ③}{①} = \frac{11410,34}{2353,24} = 4.84$ m.

INERCIA x DENSIDAD $i_x \delta = \Sigma ⑧ = 329.0$ Tm.m

$\overline{Ppp.G} = \frac{\Sigma ⑤}{①} = \frac{60363,86}{2353,24} = 25.55$ m.

CALCULO DE CALADOS Y ESTABILIDAD INICIAL

CUADRO B — EJEMPLO N° 73

Datos:

Desplazamiento (D) = 2.353,24 Tm.
Altura del c. de g. G ($\overline{KG}$) = 4,848 m.
Distancia del c. de g. G a la Ppp. ($\overline{Ppp.G}$) = 25,65 m.
Sumatoria de los momentos de superficies libres por densidad ($\Sigma i.\ \delta$) = 329.0 Tm.m.

Con el valor del desplazamiento se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Calado de hidrostáticas (Ch) = 5,47 m.

Con este calado se obtiene en las curvas hidrostáticas:

Altura del metacentro longitudinal ($\overline{KM}_L$) = 61,12 m.
Altura del metacentro transversal ($\overline{KM}$) = 5,561 m.
Distancia del centro de carena a la Ppp. ($\overline{Ppp.C}$) = 26,130 m.
Distancia del c. de g. de la flotación a la Ppp. ($\overline{Ppp.F}$) = dpp = 23,760 m.

Cálculo de calados:

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\overline{CG} \times D^{*}}{Mu} = \frac{\left[\left(\overline{Ppp.G} - \overline{Ppp.C}\right) . D\right]}{\frac{D \times GM_L}{100 \times E}} \quad (*)$$

$$\text{Asiento (A)} = \frac{\left[-25,65 - (-26,13)\right] . 2.353,24}{23,60} = +47,8 \text{ cm.} \quad \begin{matrix}(+) \text{ apopado} \\ (-) \text{ aproado}\end{matrix}$$

$$\text{Alteración a popa (app)} = \frac{A}{E} . dpp = \frac{0,478}{56,10} \times 23,76 = 0,203 \text{ m.}$$

Alteración a proa (apr) = A − app = 0,478 − 0,203 = 0,275 m.
Asiento total (At) = A + A construcción = 0,478 + 1,20 = 1.678 m.
Calado s/base en la Ppr (Cbpr) = Ch − 0,60 ± apr = 5,47 − 0,60 − 0,275 = 4,60 m.
Calado s/base en la Ppp (Cbpp) = Ch + 0,60 ∓ app = 5,47 + 0,60 + 0,203 = 6,27 m.
Calado completo en la Ppr (Ccpr) = Cbpr + 0,324 = 4,60 + 0,324 = 4,92 m.
Calado completo en la Ppp (Ccpp) = Cbpp + 0,324 = 6,27 + 0.324 = 6,59 m.

$$\text{Calado completo en la maestra (Cc)} = \frac{Ccpr + Ccpp}{2} = \frac{4,60 + 6,59}{2} = 5,755 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de proa (Cmpr)} = Ccpr + \frac{At}{E} \times 0,55 = 4,92 + 0,02 = 4,94 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en marca de popa (Cmpp)} = Ccpp - \frac{At}{E} \times 3,30 = 6,59 - 0,10 = 6,49 \text{ m.}$$

Cálculo de la estabilidad inicial:

Altura metacéntrica transversal ($\overline{GM}$) = $\overline{KM} - \overline{KG}$ = 5,561 − 4,848 = 0,713 m.

$$\text{Corrección por superficie libre (c)} = \frac{\Sigma i . \delta}{D} = \frac{329.0}{2353,24} = 0,14 \text{ m.}$$

Altura metacéntrica corregida ($\overline{GMc}$) = $\overline{GM}$ − c = 0,713 − 0,14 = 0.573 m.

NOTA: $\overline{GMc}$ deberá resultar siempre *mayor de 0,35 m.*

(*) Ver Nota del epígrafe 11-6.

MOMENTOS ESCORANTES POR SUPERFICIE LIBRE DE TANQUES NO EXCEPTUADOS. = Ms.l

CUADRO C

EJEMPLO Nº 73

Tabla de coeficientes k:
donde:
m = Manga máxima del tanque
p = Altura o puntal máximo del tanque

Para valores intermedios de
m/p se interpola linealmente.

m/p \ θ°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
20	0.12	0.12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03
10	0,11	0 12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03
5	0.07	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05
3	0,04	0.09	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06
2	0,03	0,06	0,09	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08
1,5	0,02	0,05	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10
1	0,01	0,03	0,05	0,07	0;10	0,12	0,13	0,13
0,75	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,12	0,15	0,16
0,50	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,09	0,16	0,21
0,30	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,27
0,20	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,27
0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,14

DESIGNACION DE TANQUES	NOM. ESC. PARA k=1 M_1	10°		20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°	
		k_{10}	$k_{10} \times M_1$	k_{20}	$k_{20} \times M_1$	k_{30}	$k_{30} \times M_1$	k_{40}	$k_{40} \times M_1$	k_{50}	$k_{50} \times M_1$	k_{60}	$k_{60} \times M_1$	k_{70}	$k_{70} \times M_1$	k_{80}	$k_{80} \times M_1$
D. Fondo Nº 1 gas oil Cnas. 50-70 Br. Er.	294.476	0.072	2120	0.110	32.39	0.110	32.39	0.110	32.39	0.100	29.45	0.090	26.50	0.070	20.61	0.050	14.72
T. Cong. Nº 3 Pesc. Salm. Cnas. 50-56 Br. Er.	961.874	0.015	14.43	0.040	38.47	0.060	57.71	0.085	81.76	0.105	101.00	0.115	110.62	0.120	115.42	0.115	110.62
			35.63		70.86		90.10		114.15		130.45		137.12		136.03		125.34
			$\leq k_{10} \times M_1$		$\leq k_{20} \times M_1$		$\leq k_{30} \times M_1$		$\leq k_{40} \times M_1$		$\leq k_{50} \times M_1$		$\leq k_{60} \times M_1$		$\leq k_{70} \times M_1$		$\leq k_{80} \times M_1$

Correcciones $\overline{GZ}$ por momentos escorantes:

$$\Delta\overline{GZ}_{10^\circ} = \frac{\leq k_{10^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.015}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{20^\circ} = \frac{\leq k_{20^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.030}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{30^\circ} = \frac{\leq k_{30^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.039}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{40^\circ} = \frac{\leq k_{40^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.049}{} \text{ m.}$$

$$\Delta\overline{GZ}_{50^\circ} = \frac{\leq k_{50^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.056}{} \text{ m.} \qquad \Delta\overline{GZ}_{60^\circ} = \frac{\leq k_{60^\circ} \times M_1}{D} = \frac{0.059}{} \text{ m.}$$

CALCULO DE BRAZOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y ESTABILIDAD DINAMICA

CUADRO D

EJEMPLO Nº 73

Datos:

Desplazamiento D = 2.353,24 Tm.
Altura c. de g. $\overline{KG}$ = 4,848 m.

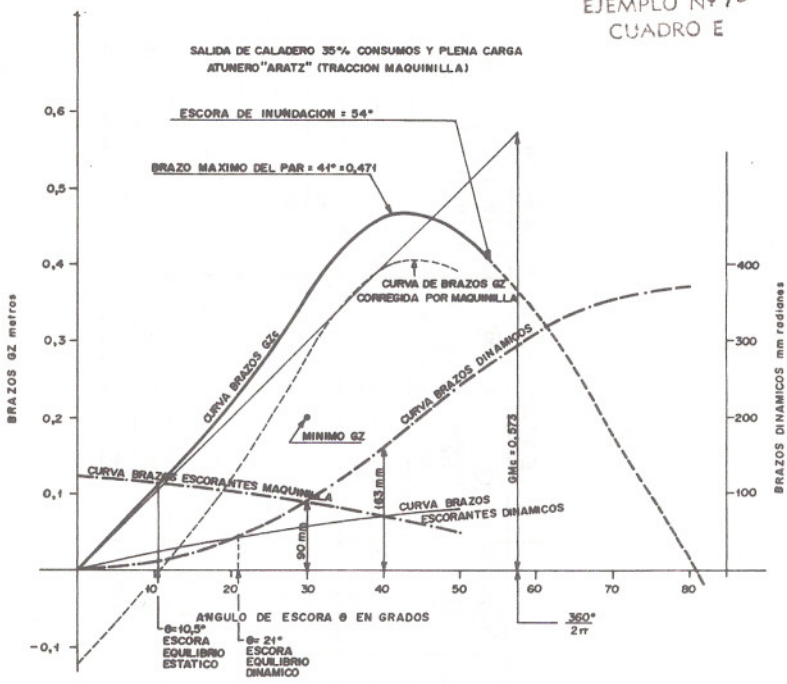
Con el desplazamiento obtenemos de las curvas cruzadas los valores $\overline{KN}$ y de la curva del ángulo de inundación θ_f.

ESTABILIDAD ESTATICA								ESTABILIDAD DINAMICA			
(1) θ°	(2) $\overline{KN}$ m.	(3) sen θ	(4) $\overline{KG}$. sen θ m.	(5)=(2)-(4) $\overline{GZ}$ m.	(6) $\Delta\overline{GZ}$ m.	(7) $\Delta\overline{GZ}$ por asiento m.	(8)(5)(6)(7) $\overline{GZ}c$ m.	(9) Ordenada media mm.	(10) $\frac{10.2\pi \text{ rad.}}{360}$ 0,1745	(11)(9)(10) Dinámica parcial mm.rad.	(12) Dinámica total mm.rad.
0°	—	0.0000	—	—	—	—	—	—	"	—	—
10°	0.970	0.1736	0,842	0,128	−0,015	—	0,113	56	"	10	10
20°	1.910	0.3420	1,658	0,252	−0,030	—	0,222	167	"	29	39
30°	2.830	0.5000	2.424	0,406	−0,039	—	0,367	294	"	51	90
40°	3.630	0.6428	3.116	0,514	−0,049	—	0,465	416	"	73	163
50°	4.210	0.7660	3.714	0,496	−0,056	—	0,440	453	"	79	242
60°	4.600	0.8660	4.198	0,402	−0,059	—	0,343	391	"	68	310
70°	4.790	0.9397	4.556	0,234	−0,058	—	0,176	259	"	45	355
80°	4.850	0.9848	4.774	0,075	−0,054	—	0,021	98	"	17	372

Angulo de inundación θ_f = 54°

NOTA Las correcciones de $\overline{GZ}$ por asiento (columna 7) serán:
- Constante e = 0,02 para todos los ángulos si el asiento difiere del de Proyecto (1,2 m.) en más de 1 m.
- Nulas en los demás casos

EJEMPLO Nº 73
CUADRO E



CRITERIO DE ESTABILIDAD DE O.M.I. PARA BUQUES PESQUEROS DE ESLORAS MAYORES DE 24 METROS

Estabilidad Estática

Condiciones:

a) $\overline{GM}c = 573$ mm. > 350 mm.
b) $\overline{GZ}_{30°} = 367$ mm. > 200 mm.
c) $\overline{GZ}_{máx.} = 41° > 30°$

Estabilidad Dinámica

a) Brazo dinámico a 30° =
= 90 mm.rad. > 55 mm.rad.
b) Brazo dinámico a 40° =
= 163 mm.rad. > 90 mm.rad.
c) Diferencia entre:
Brazo dinámico 40° = 163 mm.rad.
— Brazo dinámico 30° = 90 mm.rad.

Diferencia = 73 mm.rad.

Diferencia brazos dinámicos > 30 mm.rad.
$\theta_f = 54° > 40°$

Respuesta:

1°.) Los calados en las marcas son:
Cmpr. = 4,94 m. ; Cmpp. = 6,49 m.

2°.) Las curvas de estabilidad estática y dinámica corregidas se pueden ver en el Cuadro E.

3°.) El ángulo de equilibrio estático es de 10,5° hacia la banda que se encuentra la roldana del pescante de pesca; el ángulo de equilibrio dinámico es de 21°.

EJERCICIOS

1. Un buque pesquero de 18 m. de eslora, manga 6 m., puntal 3,20 m., francobordo 0,8 m. y la longitud de la superestructura es de 7,2 m., no posee información de estabilidad. Se mide su periodo de balance doble siendo de 9 segundos. Se desea saber si este pesquero cumple con el criterio de O.M.I. de esloras inferiores a 30 metros.

R: $\overline{GM}min = 0{,}545$ m. y $\overline{GM}c = 0{,}270$ m. No cumple con el criterio de O.M.I.

2. Se navega con la mar del través en el buque «Aratz», aprovechando un tren de olas muy regulares se mide el periodo doble de balance, siendo de 12 segundos. Hallar la estabilidad aproximada y si cumple con el criterio de O.M.I. en esa condición.

R: $\overline{GM}c = 0{,}505$ m. $> 0{,}35$ m. Cumple con la condición del criterio de O.M.I.

3. El buque «Aratz» se encuentra en puerto habiéndose calculado la altura del centro de gravedad G corregida por superficies libres siendo de 4,98 m., su calado medio de trazado es de 4,90 m. Se quiere saber si el buque tiene una estabilidad satisfactoria.

R: El buque tiene una estabilidad satisfactoria.

CAPITULO XV

COMPARTIMENTADO

15.1. MAMPAROS ESTANCOS

Los buques se encuentran interiormente divididos por mamparos transversales y longitudinales que los hacen más funcionales, además de fortalecer su estructura. Estos mamparos pueden ser de diferentes tipos, de acuerdo al uso para el cual están destinados; por ejemplo, dividen camarotes, bodegas, doble fondos, etc..

En este Capítulo, trataremos con preferencia a los mamparos llamados estancos, que son aquellos que dividen transversalmente al buque en secciones, limitando las inundaciones en caso de avería, los incendios y los gases tóxicos.

Estos mamparos cumplen con ciertas disposiciones en su construcción, tanto de resistencia a la presión del agua inundada, como a las temperaturas, en caso de incendios. Su altura debe alcanzar hasta la cubierta superior estanca.

En el Capítulo I vimos que entre las propiedades de los buques estaban la flotabilidad y estabilidad. Gracias a la compartimentación estanca de los buques se logra resistir una avería, evitando la propagación de una inundación y que solamente pierda parte de la reserva de flotabilidad y estabilidad, según las normas establecidas en los convenios de seguridad.

15.2. ALGUNAS DEFINICIONES DEL CONVENIO INTERNACIONAL PARA LA SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA EN EL MAR, DE 1974

- *Cubierta de cierre*, es la cubierta más alta donde llegan los mamparos estancos. Esta cubierta también se llama de compartimentado.

- *Línea de margen*, es una línea trazada por el costado del casco que está a 76 mm. por debajo de la cubierta de cierre.

- *Línea de máxima carga de compartimentado*, es la línea de flotación del máximo calado permitido por las normas de compartimentado aplicables.

- *Eslora inundable en cualquier punto del buque*, es la longitud que deben tener los compartimentos, para que en caso de una inundación de uno o dos compartimentos adyacentes, el buque no se hunda más allá de la línea de margen. Esta eslora inundable se calcula teniendo en cuenta el tipo de buque y la permeabilidad de los espacios por debajo de la línea margen para cada parte del buque.

- *Permeabilidad de volumen*, es el volumen real de agua que puede entrar en un compartimento que se inunde. Para calcular este volumen permeable se debe multiplicar el volumen del compartimento por un *coeficiente de permeabilidad de volumen Kv*.

- *Permeabilidad de superficie*, es el área de la superficie de flotación del compartimento inundado que en realidad queda libre. Para calcular esta superficie, se multiplica la superficie libre del compartimento inundado por un *coeficiente de permeabilidad de superficie Ks*.

El Convenio adopta los siguientes coeficientes de permeabilidad de volúmenes y superficies, para los cálculos en casos de inundaciones de los compartimentos:

Espacios	Coeficientes Kv o Ks
Asignados a la carga, carbón o pertrechos	0,60
Ocupados por alojamientos	0,95
Ocupados por maquinaria	0,85
Destinados a líquidos	0 o 0,95

Este último coeficiente se adoptará Kv = 0 o Kv = 0,95, si el compartimento inundado se encontraba lleno o vacío respectivamente, previo a la inundación.

Se tomará Ks = 0, si el compartimento se inunda completamente como es el caso de los que quedan bajo la línea de flotación o limitados en altura, y Ks = 0,95, si el compartimento inundado queda con superficie libre o no está limitado en altura, cuando éste tuviera libre comunicación con el mar.

15.3. SUB-DIVISION ESTANCA Y ESTABILIDAD DESPUES DE LA AVERIA

En lo referente a la sub-división estanca para los buques de pasaje (*), éstos se rigen por las disposiciones establecidas en el «Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar» y por la Resolución A-265 (VIII) de O.M.I., sobre «Reglas de compartimentado y estabilidad para buques de pasaje».

Respecto a los buques de carga, todavía no se ha llegado a acuerdos internacionales con referencia al compartimentado; pero, las Sociedades Clasificadoras, han adoptado criterios muy similares unas de otras, tomando como base lo establecido por el Convenio para buques de pasaje.

En las Figs. XV-1a y XV-1b se muestran los mamparos transversales estancos principales, pudiéndose observar que todos los mamparos terminan en la cubierta de compartimentado o de cierre.

En los buques petroleros y en aquellos que hayan sido construidos para transportar hidrocarburos a granel y que tengan una capacidad superior a 200 metros cúbicos; así como los buques tanques químicos, construidos para el transporte de sustancias nocivas líquidas, se aplicarán las disposiciones establecidas en el «Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los buques» de 1973 y su

(*) Se llama buque de pasaje, al que le está permitido transportar más de 12 pasajeros.

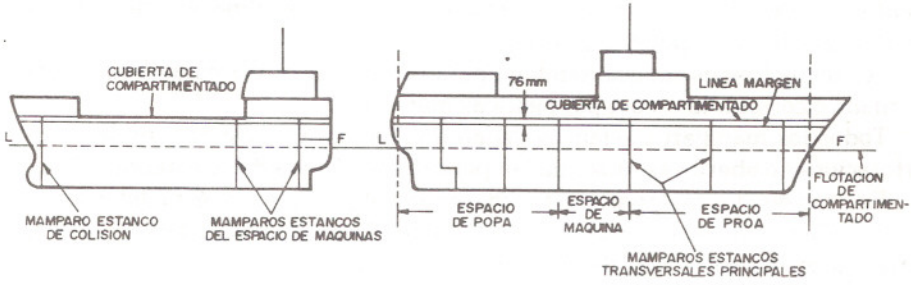


Fig. XV - 1a

Fig. XV - 1b

forma enmendada por el correspondiente Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78). El mencionado Convenio entró en vigor desde el 2 de octubre de 1983 y todos los buques nuevos (botados después del 31-12-79) deben regirse por las reglas de compartimentado y estabilidad en su construcción.

Los buques pesqueros, en un futuro muy próximo, al entrar en vigor el «Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros, de 1977», se regirán para su construcción, sub-división estanca y estanqueidad por el antes mencionado Convenio.

En general, se puede decir, que los buques tienen compartimentaciones estancas que no les permiten hundirse más allá de la línea margen, así sea el compartimento de mayor volumen el que haya sufrido la inundación. La estabilidad final, luego de la avería, será positiva y su $\overline{GM}$ no será menor de 50 mm.

Las reglas para el cálculo de la separación de los mamparos transversales variará de acuerdo a la eslora del buque y el servicio a que esté destinado.

La máxima eslora admisible de un compartimento, en un punto cualquiera de la eslora de un buque, se obtiene multiplicando la eslora inundable por un *factor* llamado *de sub-división*.

Todos los buques poseen como mínimo los siguientes mamparos estancos:

a) mamparo de colisión, el cual se encuentra próximo a la perpendicular de proa.
b) mamparos estancos que limitan el espacio de máquinas, de los espacios destinados a la carga y al pasaje
c) mamparo estanco que limita la bocina del eje porta hélice. Este mamparo evita que en caso de avería en el prensaestopa, con inundación en el espacio en que se encuentra la bocina, se sumerja la cubierta de cierre.

Los otros mamparos estancos transversales que deberán llevar los buques, van a depender de la eslora del mismo y por supuesto, del factor de sub-división.

Además, de los mamparos estancos que dividen transversalmente al buque, se construyen otros horizontales que pueden cubrir todo el plan del casco entre el mamparo de colisión y el del rasel de popa. Estos mamparos forman los doble fondos, al estar sub-divididos por medio de mamparos longitudinales y transversales.

El cielo de estos doble fondos debe tener una altura que pueda proteger al casco hasta la curva superior del pantoque. Los doble fondos, además de fortalecer la estructura del casco y proteger la parte inferior contra desgarraduras por encallamiento, prestan un servicio muy importante, como lo es el almacenamiento de combustible, aceite, agua potable y lastre.

Los doble fondos se usan también para dar al buque una estabilidad y asiento adecuado o corregir la escora por pesos asimétricos.

Todos los mamparos estancos llegan a la cubierta de cierre y no deben tener perforaciones o aberturas, que puedan permitir la pérdida de su estanqueidad.

En caso que los mamparos estancos tengan alguna puerta, ésta debe ser estanca y tener la misma resistencia que el mamparo. Estas puertas estancas pueden ser de tres clases de acuerdo al sistema de cierre usado:

Clase I - Puertas de bisagra

Clase II - Puertas de correderas accionadas a mano

Clase III - Puertas de correderas accionadas tanto a motor como a mano.

Los buques tienen que poseer suficiente estabilidad en todas las condiciones de carga en el estado intacto, cumpliendo con las reglas o criterios, para que en caso de avería, puedan mantener la estabilidad mínima de acuerdo al criterio de estabilidad para después de la avería, según el tipo de buque.

Para los buques de pasaje se exige que cumplan las siguientes condiciones en la etapa final de inundación:

1°) La altura metacéntrica $\overline{GM}$ será mayor de 50 mm.

2°) El ángulo de escora, en caso de inundación asimétrica de un solo compartimento, no excederá de 7 grados y si fueran dos o más compartimentos adyacentes que se inundaran, puede permitirse hasta 15 grados.

3°) La cubierta de cierre no quedará sumergida en su unión con el costado del casco, excepto en la parte del compartimento o compartimentos inundados.

Para los petroleros se establece que deben cumplir las siguientes condiciones del criterio de estabilidad después de la avería:

1°) La flotación final, teniendo en cuenta la inmersión, la escora y el asiento, queda por debajo del canto inferior de cualquier abertura por la cual pueda producirse una inundación progresiva. Dichas aberturas incluirán los respiros y las que se cierren por medio de puertas o tapas de escotilla estancas a la intemperie. Se podrán excluir las aberturas cerradas por medio de tapas de registros y tapas a ras de cubierta estancas; las pequeñas tapas de escotilla estancas de tanques de carga, que mantengan la alta integridad de la cubierta; las puertas estancas correderas maniobrables a distancia y los portillos laterales de cierre permanente.

2°) La escora producida por la inundación asimétrica no excederá de 25°, pero dicho ángulo podrá aumentarse hasta 30°, si no se produce inmersión del canto de la cubierta.

3°) La curva de brazos adrizantes tendrá una amplitud mínima de 20° a partir de su posición de equilibrio, con un brazo residual máximo de 100 mm.

Para los buques pesqueros de eslora mayor de 100 metros y que lleven más de 100 personas a bordo, en la etapa final de la inundación se exigen las siguientes condiciones:

1°) La altura metacéntrica $\overline{GM}$ será como mínimo de 50 mm.

2°) El ángulo de escora al final de la inundación de un compartimento no excederá de 20 grados.

3°) La curva de brazos de adrizamiento tendrá un alcance mínimo de 20 grados, contado desde la posición de equilibrio, con un brazo adrizante residual de 100 mm. como mínimo.

4°) La estabilidad dinámica bajo la curva de brazos adrizantes será mayor de 0.0175 mm. radianes, hasta el alcance señalado en el ítem 3°.

15.4. COMPARTIMENTADO Y RESERVA DE FLOTABILIDAD DE LOS BUQUES

La reserva de flotabilidad es el volumen de carena estanco sobre la línea de flotación y está íntimamente relacionado con el francobordo del buque.

La mínima reserva de flotabilidad de un buque, es aquella cuando éste está cargado hasta su línea de máxima carga de compartimentado o sea su mínimo francobordo.

Lo ideal en los buques sería que tuvieran muchos mamparos estancos, para que en caso de una avería, su pérdida de flotabilidad fuera mínima al inundarse un compartimento; pero, desde el punto de vista funcional y de costo en la construcción, se subdividen en una cantidad mínima de espacios por medio de mamparos estancos transversales y longitudinales, según las normas de construcción establecidas por las Convenciones vigentes y las Sociedades de clasificación.

Los petroleros y otros buques cisternas destinados al transporte de líquidos, tienen una sub-división estanca mucho mayor que otros tipos de buques mercantes, debido al efecto de superficies libres, que afectaría a la estabilidad y a la contaminación del medio marino, por derrames de hidrocarburos o sustancias contaminantes líquidas. Según MARPOL 1973, limita la capacidad de los tanques de los petroleros a un máximo de 40.000 metros cúbicos.

Debido a la mayor división estanca en los buques de carga líquida, se les permite un menor francobordo, que los buques de carga seca. (En el Cap. III estudiamos que los buques tipo «A», eran aquellos proyectados a transportar cargas líquidas a granel y se usaba una tablilla para obtener el francobordo tabular, diferente a los buques tipo «B» destinados al transporte de cargas secas).

Se llama *coeficiente de flotabilidad*, a la relación que existe entre el volumen de la obra muerta estanca y el volumen de la carena u obra viva.

$$\text{Coeficiente de flotabilidad} = \frac{\text{Volumen obra muerta}}{\text{Volumen obra viva}}$$

El objetivo de la compartimentación estanca es mantener el buque a flote, limitando la inundación en caso de avería, ella es parte de la seguridad del buque. En todo buque mercante es primordial la seguridad de la vida de los pasajeros y tripulantes; mantener su flotabilidad es esencial.

EJERCICIOS

1. Explicar las funciones principales que cumplen los mamparos estancos.

2. Definir: cubierta de cierre, línea margen y línea de máxima carga de compartimentado.

3. Un buque tiene una avería en el casco que da a una bodega de carga cuyo volumen es de 140 m^3 y su permeabilidad de volumen es de 60%.

Hallar el peso del agua salada (densidad = 1.025) que puede penetrar.

R.: Peso del agua = 86.1 Tm.

4. Nombrar los mamparos estancos que deben de tener los buques según las normas de construcción.

R.: 1. Mamparo de colisión; 2. Mamparo de proa espacio de máquinas; 3. Mamparo de popa espacio de máquinas y 4. Mamparo estanco de la bocina y rasel de popa.

5. Un buque tiene 8.000 m^3 de volumen de carena y su coeficiente de flotabilidad es de 0.45. Calcular el volumen de la reserva de flotabilidad.

R.: El volumen de la reserva de flotabilidad = 3.600 m^3

6. Un trozo de madera se encuentra flotando en agua salobre de densidad 1.010, tiene forma paralelepípeda de las siguientes dimensiones: largo = 2 m., ancho = 0.20 m. y de alto = 0.15 m.: la densidad de la madera es de 0.7.

Hallar: a) La reserva de flotabilidad. b) El coeficiente de flotabilidad.

R.: a) La reserva de flotabilidad es de 0.0184158 m^3

b) El coeficiente de flotabilidad es de 0.44.

CAPITULO XVI

INUNDACION

16.1. GENERALIDADES

Se llama inundación a la entrada de agua al interior del buque. Esta entrada de agua puede ser provocada por muchas circunstancias ya sea por accidentes como colisión o varada; por deterioro o fatiga del material del casco produciendo una avería al forro o también una inundación provocada intencionalmente.

Al introducirse el agua al interior del buque, existe un aumento en el desplazamiento o pérdida de la flotabilidad; variando los calados y produciendo una escora si el compartimento inundado es asimétrico.

Generalmente la inundación provocada por una desgarradura del casco es grande y las bombas de achiques de todo el buque no son suficientes, dependiendo de la cantidad de agua (Q) que entra por el área (A) de la vía de agua y de la distancia (d) a la flotación.

Una fórmula que podemos calcular aproximadamente la cantidad de agua que entra por segundo por un orificio bajo la línea de flotación es la siguiente:

$$Q = 1{,}025 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d} \quad (*)$$

en donde

Q = Toneladas de agua por segundo
A = Area de la vía de agua en m^2
g = Gravedad 9,8 m/seg^2
d = Distancia de la vía de agua a la flotación en m.

EJEMPLO Nº 74. En un buque que navega en agua salada, se produce una avería a una profundidad del plano de flotación de 5,00 m.; siendo la vía de agua de 20 cm. de diámetro. Calcular la cantidad de toneladas de agua que entrarán en 1 minuto.

$$Q = 1{,}025 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d}$$

(*) Otra fórmula sugerida para el cálculo de la entrada de agua es:
$Q = 4{,}3 \times A \cdot \sqrt{d}$, utilizando las mismas unidades.

$$A = \text{radio}^2 \times \pi = 0{,}10^2 \times 3{,}14 = 0{,}0314\ m^2$$

$$Q = 1{,}025 \times 0{,}0314 \sqrt{2 \times 9{,}8 \times 5} = 0{,}3186\ Tm./seg.$$

Cantidad Tm. en 1 minuto = $0{,}3186 \times 60 = 19{,}116$ Tm./min.

La cantidad de agua que entra va a depender del tamaño del orificio y de la distancia vertical entre la superficie de flotación y la vía de agua. También se puede apreciar que una avería grande no se podría achicar con las bombas del buque. Al hacer el plan de achique se considerará el buque dividido en tantos espacios como aquellos separados por mamparos estancos, entonces la inundación se producirá solamente en aquellos que tengan vías de agua. Luego de la ubicación y taponamiento de las vías de agua, se procede al achique por medio de las bombas.

16.2. TIPOS DE INUNDACIONES Y SUS EFECTOS

Como se dijo anteriormente una inundación va a producir variaciones en la estabilidad del buque, cambio de asiento o escora según el lugar del compartimento inundado. La magnitud de estas variaciones va a depender de la cantidad de agua que entre en la inundación y de la posición del compartimento inundado. La extensión de la inundación depende de la compartimentación estanca del buque o sea que está limitada por la misma. Si se pierde la estanqueidad, la inundación se hace progresiva y el buque corre el riesgo de hundirse.

Para su estudio dividiremos la inundación en dos tipos o casos:

a) Inundación de un compartimento limitado en altura

b) Inundación de un compartimento no limitado en altura.

a) Caso de inundación de un compartimento limitado en altura

Este caso es cuando la inundación se produce en un compartimento que tiene su parte superior o cielo, limitado por una cubierta que está bajo la línea de flotación. Fig. XVI-1.

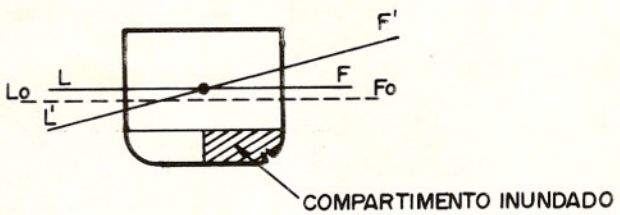


Fig. XVI - 1

El peso del agua embarcada está dada por el volumen del compartimento v por la densidad del agua δ

$p = v \cdot \delta$

En este caso se supone que el compartimento está vacío, pero si tuviera carga en su interior el peso del agua se halla:

$p' = v \cdot \delta \cdot Kv$

p' = peso del agua embarcada

Kv = coeficiente de permeabilidad de volumen.

EJEMPLO N° 75. Hallar el peso del agua embarcada (agua salada) en un tanque limitado en altura cuyas dimensiones son: manga = 6 m., eslora = 8 m., alto = 3 m., tiene carga en su interior $Kv = 0{,}60$.

v = manga x eslora x alto = $6 \times 8 \times 3 = 144\ m^3$

$p' = v \cdot \delta \cdot Kv = 144 \times 1{,}025 \times 0{,}60 = 88{,}56$ Tm.

Después de hallar el peso, para efectuar otros cálculos se considera como lo tratado en el Capítulo XIII - Carga y descarga de pesos.

b) Caso de inundación de un compartimento no limitado en altura

En este caso la inundación no llega a la parte superior del compartimento inundado, por lo tanto el agua va a entrar hasta la altura de la superficie del agua exterior.

En la Fig. XVI-2, si la flotación antes de la inundación fuera LoFo, al entrar un volumen de agua v, el buque se sumergerá hasta la flotación L'F', entrando un volumen adicional v' por la inmersión $I = \Delta C$.

Si llamamos A al área del compartimento inundado y A' al área de la flotación se puede establecer la siguiente igualdad de los volúmenes causados por la inundación:

$A' \cdot I = v + v' = v + A.I$: de donde:

$$I = \frac{v}{A' - A}$$

Si el compartimento inundado tiene carga en su interior, la fórmula anterior quedará:

$$I = \frac{v.Kv}{A' - A.Ks}$$

Kv y Ks son los coeficientes de permeabilidad de volumen y de superficie respectivamente.

Estas fórmulas para el cálculo de la inmersión I son válidas cuando los costados del casco son paralelos, pero si no lo fueran, la superficie de flotación A' puede aumentar a un valor de A'', las cuales se calculan mediante la curva hidrostática correspondiente. Para hallar A'' se entra en la hidrostática con el calado medio inicial más el incremento I calculado por las fórmulas anteriormente dadas.

$Cm = Cm.i + I$

Después de hallar A'' (área de la flotación final, luego de la inundación, por supuesto que esta área es aproximada porque el incremento I se calculó en forma aproximada), se deduce la fórmula para la inmersión cuando el buque no tiene costados paralelos:

$$\left(\frac{A' + A''}{2}\right) . I = v + A.I \quad ; \text{de donde:}$$

$$I = \frac{2.v}{A' + A'' - 2.A} \quad ; \text{si el buque tuviera carga en el compartimento}$$

inundado, se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{2.v.Kv}{A' + A'' - 2.A.Ks}$$

La estabilidad del buque estará afectada además del peso p del agua embarcada, por la superficie libre y otro efecto causado por la libre comunicación o circulación con el mar al escorarse el buque.

Estudiaremos separadamente las tres causas que afectan la estabilidad al producirse una inundación en un compartimento que no está limitado en altura, ellas son las siguientes:

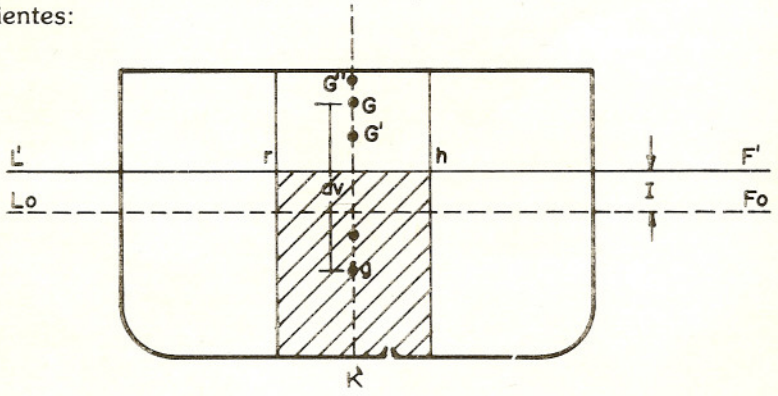


Fig. XVI - 2

1°) Aumento de peso

En la Fig. XVI-2, consideramos que el buque se encuentra en la flotación LoFo y el compartimento inundado es central, el cual no produce escora, entonces el buque se va a sumergir hasta la flotación L'F' o sea que sufrirá una inmersión I.

p = I.Tc = Inmersión x Toneladas por cm. de inmersión

El traslado del centro de gravedad del buque de G a G' estará dado por la siguiente fórmula:

$$\overline{GG'} = \frac{p \, . \, dv}{D + p}$$

dv = distancia entre el G del buque y el g del peso del agua inundada.

$\overline{KG'} = \overline{KG} \pm \overline{GG'}$ (el signo será positivo +, si el c. de g. del peso del agua

inundada está por encima del G del buque, de lo contrario es negativo —).

2°) Superficie libre

En la Fig. XVI-2, debido a que el compartimento inundado no está limitado en altura, va a existir superficie libre (rh), entonces este efecto trasladará al G' hacia arriba hasta G'', porque sabemos que este efecto es siempre perjudicial para la estabilidad.

$$\overline{G'G''} = \frac{i \cdot \delta}{D + p}$$

i = momento de inercia de la superficie libre del compartimento inundado
δ = densidad del agua inundada

3°) Libre comunicación con el mar

En la Fig. XVI-3, tenemos un buque con un compartimento inundado que se encuentra con su c. de g. fuera del plano de crujía, a una distancia transversal d_t entonces el buque se va a ver afectado por una escora θ al entrar un peso de agua p, considerando la inundación paralela. Si suponemos a los efectos del estudio que no entra más agua por la vía de agua que se produjo en el pantoque, el buque queda con la flotación L_1F_1 y en el interior del compartimento rh, pero como se está en libre comunicación con el mar a través de la avería, continuará entrando agua en el compartimento inundado una cantidad equivalente a p', representado en la figura por la superficie rhh'r'. Finalmente, el buque quedará con la flotación L_2F_2, el agua inundada con r'h' y la escora θ '

El desplazamiento final será: $D + p + p' = D + p_1 = D'$

El peso p', al entrar el agua por libre comunicación con el mar, produce un par escorante adicional haciendo que el centro de gravedad del buque que se encontraba en G'' tenga una subida virtual hasta G'' '.

La subida virtual del centro de gravedad del buque $\overline{G''G''}$ ', causada por el peso del agua de la libre comunicación está dada por la siguiente fórmula:

$$\overline{G''G''}' = \frac{\delta \cdot A \cdot d_t^{\,2}}{D'}$$

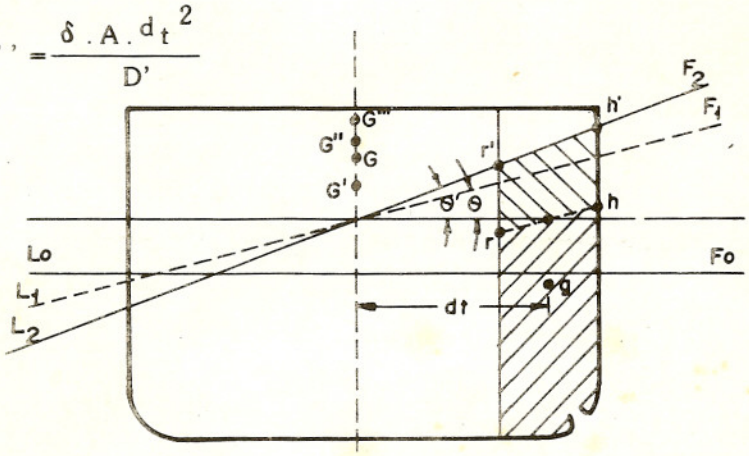


Fig. XVI - 3

Siendo:

δ = densidad del agua inundada

A = área del compartimento inundado

d_t = distancia transversal del c. de g. del compartimento inundado

D' = desplazamiento final.

Resumiendo, el caso de una inundación en un compartimento no limitado en altura y asimétrico con respecto al plano de crujía, la altura metacéntrica estará afectada una distancia $\overline{GG''}$. Esta corrección $\overline{GG''}$ será positiva, si el G'' queda por debajo del G inicial del buque (antes de la inundación) o negativa, si el G'' queda por encima del G inicial, siendo el caso de la figura.

Entonces tenemos:

$$\overline{GMc} = \overline{G''M} = \overline{GMi} \pm \overline{GG''}$$

$$\overline{GG''} = \pm \frac{p_1 \cdot dv}{D'} - \frac{i \cdot \delta}{D'} - \frac{\delta \cdot A \cdot d_t^2}{D'}$$

Como se dijo anteriormente, la escora θ provocada por la inundación paralela del peso del agua p, no es la escora definitiva, porque al escorarse el buque y al estar en libre comunicación con el mar permite una entrada de agua adicional representada en la Fig. XVI-3 por el área rhh'r' que es igual al peso p' y el cual hace que el buque quede con la escora definitiva θ '.

La escora aproximada se calcula mediante la fórmula:

$$tg\ \theta = \frac{p \cdot d_t}{(D + p)\overline{GMc}}$$

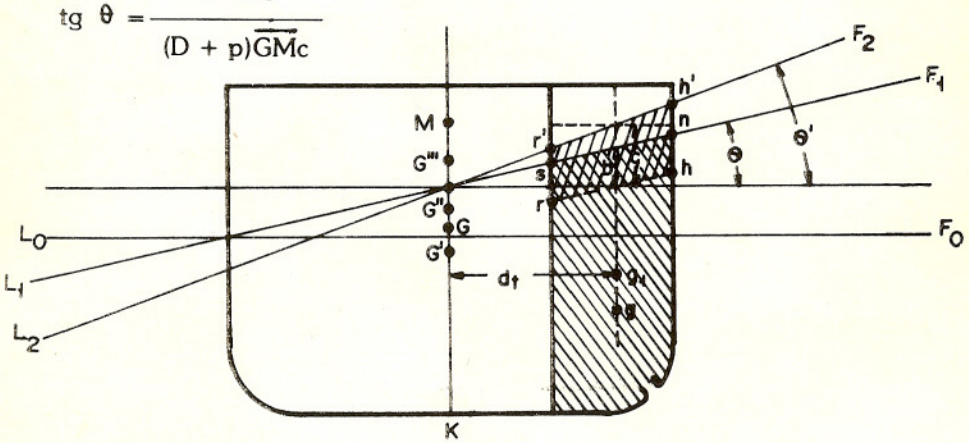


Fig. XVI - 4

Luego de calculada la escora θ , se halla el peso p' aproximado, siendo éste representado por el área rhns en la Fig. XVI-4.

Suponiendo que la forma del compartimento inundado sea paralelepípeda, el

valor del p' aproximado se calcula:

p' aprox. $= A.b.\ \delta = A.d\bar{t}.tg\ \theta\ .\delta$

Siendo:b = altura media aproximada del agua entrada por libre comunicación con el mar.

Con el valor de p_1 aprox. $= p + p'$ aprox., se puede calcular la escora θ' como sigue:

$$tg\ \theta' = \frac{p_1 \text{aprox.} d_t}{(D + p_1 \text{aprox.})\overline{GMc}}$$

Entonces el cálculo del peso p' se realiza de la siguiente manera:

$p' = A.c.\ \delta = A.d_t.tg\ \theta'.\delta$ (representada en la Fig. XVI-4 por el área rhh'r')

c = altura media final del agua entrada por libre comunicación con el mar.

El peso total del agua embarcada por inundación es $p_1 = p + p'$

La altura del centro de gravedad G final, luego de la inundación, la podemos hallar estableciendo la siguiente igualdad de momentos:

$\overline{KGf} . Df = \overline{KGi} . Di + p_1 . kg_1$

$$\overline{KGf} = \frac{\overline{KGi} . Di + p_1 . \overline{kg}_1}{Df}$$

Se obtiene en la curva hidrostática el $\overline{KM}$ final entrando con el desplazamiento final Df y se calcula el $\overline{GM} = \overline{KM}f - \overline{KG}f$, pero sin corregir por superficies libres ni libre comunicación con el mar. Se puede observar que en el caso de compartimento inundado y en libre comunicación con el mar, cuando el mismo es central, se anula la corrección $\overline{G''G''}$ ' porque la distancia $d_t = 0$.

EJEMPLO N° 76. Una gabarra de forma paralelepípeda, tiene una avería en su casco, produciéndose una inundación en dos de sus compartimentos que se encontraban vacíos, quedando en libre comunicación con el mar.

Las dimensiones de la gabarra son: E = 60 m.; M = 18 m. y P = 9 m. Los calados de proa y popa son iguales antes de la avería 4 m. y su $\overline{KG}i = 3{,}5$ m.. La gabarra está dividida por 5 mamparos estancos transversales y 3 longitudinales, teniendo un total de 24 tanques iguales. (En la Figura los compartimentos inundados son los rayados).

Se pide:

a) Calado después de la avería

b) Peso del agua embarcada

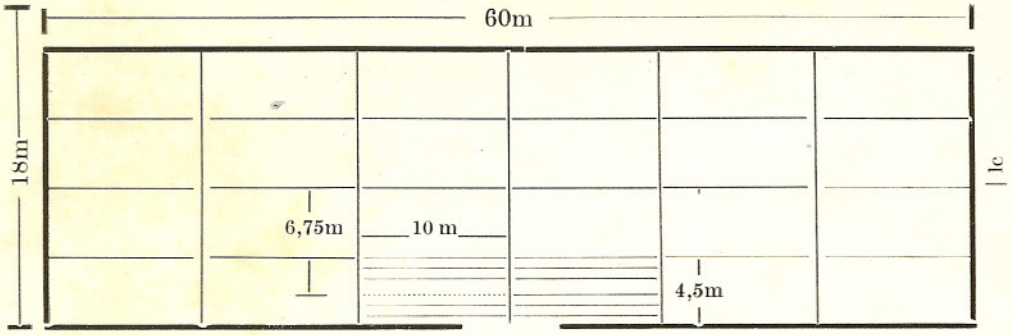
c) Desplazamiento antes y después de la avería

d) $\overline{KG}$ final

e) GM corregido por superficies libres y libre comunicación

f) Escora final

Solución:



a) Calados

Como los compartimentos inundados tienen su centro de gravedad sobre el plano que pasa por el centro de flotación F, los calados en los extremos de la gabarra se incrementarán un valor igual a I.

$$I = \frac{v}{A' - A}$$

v = volumen de los 2 tanques = 2(e . m . Cm.i)
$v = 2(10 \times 4{,}5 \times 4) = 360\ m^3$
A' = superficie en la flotación = E . M = $60 \times 18 = 1080\ m^2$
A = superficie inundada = 2(e . m) = $2 \times 10 \times 4{,}5 = 90\ m^2$

$$I = \frac{360}{1080 - 90} = 0{,}36\ m.$$

Calado final = Calado inicial + I = 4,36 m. = Cpr.f = Cpp.f

b) Peso del agua embarcada

$p_1 = p + p'$
p = peso del agua por inundación paralela = $v \times \delta$
$p = 2 \times 10 \times 4{,}5 \times 4{,}36 \times 1{,}025 = 402{,}21$ Tm.
p' aprox. = $A \cdot b \cdot \delta = A \cdot d_t \cdot \text{tg. } \theta \cdot \delta$

$$\text{tg. } \theta = \frac{p \cdot d_t}{(D + p) \cdot \overline{GMc}}$$

$\overline{GMc} = \overline{KM} - \overline{KGf}$ — Corr. sup. libre — Correc. libre comunicación

$$\overline{KGf} = \frac{\overline{KGi} \cdot Di + p \cdot \overline{Kg}}{Di + p}$$

$Di = E \cdot M \cdot Cm.i \cdot \delta = 60 \times 18 \times 4 \times 1{,}025 = 4.428$ Tm.

$$\overline{Kg} = \frac{Cm.f}{2} = \frac{4{,}36}{2} = 2{,}18\ m.$$

$$\text{Corr. sup. libre} = \frac{2(i.\ \delta)}{Di + p} = \frac{2\dfrac{(10 \times 4{,}5^{3})}{12} . 1{,}025}{4.428 + 402{,}21} = 0{,}03\ m.$$

$$\text{Corr. libre comunicación} = \frac{2(\delta . A . d_t^{\,2})}{Di + p} = \frac{2 \times 1{,}025 \times 10 \times 4{,}5 \times 6{,}75^{2}}{4.428 + 402{,}21} =$$

$$= 0{,}87\ m.$$

$$\overline{KGf} = \frac{3{,}5 \times 4.428 + 402{,}21 \times 2{,}18}{4.428 + 402{,}21} = \frac{16.374{,}82}{4.830{,}21} = 3{,}39\ m.$$

$$\overline{KM} = \overline{KC} + \overline{CM} = \frac{Cm.f}{2} + \frac{I(\text{inercia de la sup. de flotación})}{V(\text{volumen carena})}$$

$$\overline{KM} = \frac{Cm.f}{2} + \frac{\dfrac{E . M^{3}}{12}}{M . E . Cm.f} = \frac{Cm.f}{2} + \frac{M^{2}}{12\,Cm.f} = \frac{4{,}36}{2} + \frac{18^{2}}{12 \times 4{,}36} = 8{,}37\ m.$$

$$\overline{GMc} = 8{,}37 - 3{,}39 - 0{,}03 - 0{,}87 = 4{,}08\ m.$$

$$\text{tg. } \theta = \frac{402{,}21 \times 6{,}75}{(4.428 + 402{,}21)4{,}08} = \frac{2714{,}92}{19.707{,}26} = 0{,}13776$$

$\theta = 7°50'$ (escora aproximada)
p' aprox. $= 2 \times 10 \times 4{,}5 \times 6{,}75 \times 0{,}13776 \times 1{,}025 = 85{,}78$ Tm.
p_1 aprox. $= p + p'$ aprox. $= 402{,}21 + 85{,}78 = 487{,}99$ Tm.

$$\text{tg. } \theta' = \frac{p_1 \text{ aprox.} . d_t}{(Di + p_1 \text{aprox.}) . \overline{GMc}} = \frac{487{,}99 \times 6{,}75}{(4.428 + 487{,}99) . 4{,}08} = \frac{3.293{,}94}{20.057{,}24} =$$

$$= 0{,}164227$$

$\theta' = 9°19'$

$p' = A . c . \delta = A . d_t . \text{tg. } \theta' . \delta$
$p' = 2 \times 10 \times 4{,}5 \times 6{,}75 \times 0{,}164227 \times 1{,}025 = 102{,}26$ Tm.
Peso del agua embarcada $= p_1 = 402{,}21 + 102{,}26 = 504{,}47$ Tm.

c) Desplazamientos

$Di = E \cdot M \cdot Cm.i \cdot \delta = 60 \times 18 \times 4 \times 1{,}025 = 4.428\ Tm.$

$Df = Di + p_1 = 4.428 + 504{,}47 = 4.932{,}47\ Tm.$

d) $\overline{KG}$ final

$\overline{KG}f \cdot Df = \overline{KG}i \cdot Di + p_1 \cdot \overline{Kg}_1$

$$\overline{KG}f = \frac{\overline{KG}i \cdot Di + p_1 \cdot \overline{Kg}_1}{Df}$$

$\overline{Kg}_1$ = altura del centro de gravedad del agua embarcada $= \frac{\text{altura agua}}{2}$

$$\text{Altura agua} = \frac{p_1}{2(e \cdot m)\delta} = \frac{504{,}47}{2 \times 10 \times 4{,}5 \times 1{,}025} = 5{,}468\ m.$$

$$\overline{KG}f = \frac{3{,}5 \times 4.428 + 504{,}47 \times 2{,}734}{4.428 + 504{,}47} = 3{,}42\ m.$$

e) $\overline{GM}$ corregido final

$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}f$

$\overline{KM} = \overline{KC} + \overline{CM}$

$$\overline{KC} = \frac{Cm}{2}\ ;\ Cm = \frac{Df}{E \cdot M \cdot \delta} = \frac{4.932{,}47}{60 \times 18 \times 1{,}025} = 4{,}456\ m.$$

$$\overline{CM} = \frac{M^2}{12.Cm.} = \frac{18^2}{12 \times 4{,}456} = \frac{324}{53{,}472} = 6{,}0592\ m.$$

$$\overline{KM} = \frac{4{,}456}{2} + 6{,}0592 = 8{,}29\ m.$$

$$\overline{GM} = 8{,}29 - 3{,}42 = 4{,}87\ m.$$

$$\overline{GM}c = \overline{GM} - 2\frac{(i \cdot \delta)}{Df} - 2\frac{(\delta \cdot A \cdot d_t{}^2)}{Df}$$

$$\overline{GM}c = 4{,}87 - 2\frac{\left(\frac{10 \times 4{,}5^3}{12}\right)1{,}025}{4932{,}47} - \frac{2(1{,}025 \times 10 \times 4{,}5 \times 6{,}75^2)}{4932{,}47}$$

$$\overline{GM}c = 4{,}87 - 0{,}03 - 0{,}85 = 3{,}99\ m.$$

f) Escora final

$$tg.\theta f = \frac{p_1 . d_t}{Df . \overline{GMc}} = \frac{504,47 \times 6,75}{4932,47 \times 3,98} = \frac{3405,1725}{19631,23} = 0,1734569$$

$\theta f = 9°50'$

Si la inundación de un compartimento no está sobre el centro de flotación F, Fig. XVI-5, el buque va a tener una alteración en sus calados.

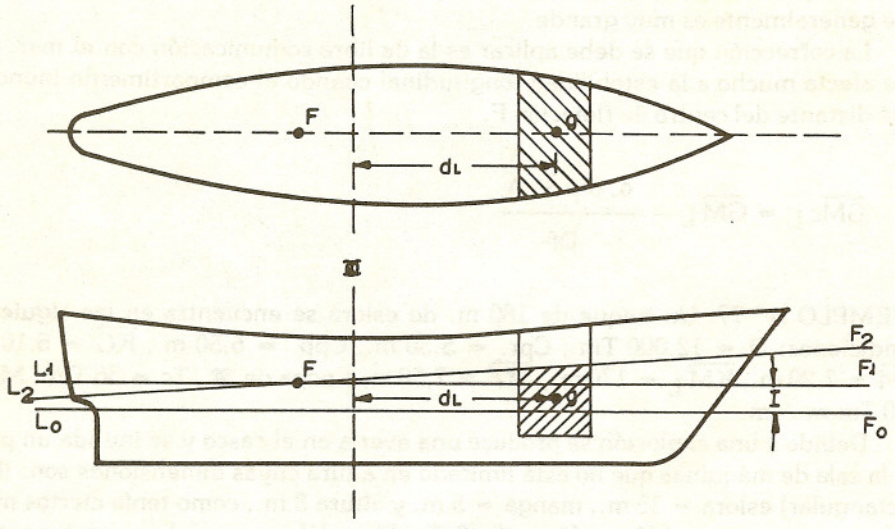


Fig. XVI - 5

Supongamos que la inundación es en el compartimento que queda a proa de la cuaderna maestra a una distancia d_L, el buque pasará de la flotación inicial LoFo a la flotación final $L_2 F_2$; los calados los podemos hallar luego de haber calculado el peso del agua inundada como se efectuó anteriormente, pero el ángulo a considerar en la inclinación será el θ_L.

$Cpr.f = Cpr.i + I \pm apr.$

$Cpp.f = Cpp.i + I \pm app.$

$$I = \frac{2.v.Kv}{A' + A'' - 2.A.Ks}$$

$$p = I . Tc \; ; \; a = \frac{p . d_F}{Mu} \; ; \; apr. = dpr. \frac{a}{E} \; ; \; app. = dpp. \frac{a}{E}$$

d_F = distancia del centro de flotación F al centro de gravedad del comparti-

mento inundado.

La altura metacéntrica longitudinal corregida $\overline{GMc}_L$ se halla de la siguiente forma:

$\overline{GM}_L = \overline{KM}_L - \overline{KGf}$; el $\overline{KM}_L$ se obtiene de las curvas hidrostáticas entrando en ellas con el desplazamiento Df = Di + p.

$$\overline{KGf} = \frac{\overline{KGi}.Di + \overline{Kg}.p}{Df}$$

La corrección por superficie libre se puede suprimir por afectar poco al $\overline{GM}_L$ que generalmente es muy grande.

La corrección que se debe aplicar es la de libre comunicación con el mar, porque afecta mucho a la estabilidad longitudinal cuando el compartimento inundado está distante del centro de flotación F.

$$\overline{GMc}_L = \overline{GM}_L - \frac{\delta . d_F{}^2 . A}{Df}$$

EJEMPLO N° 77. Un buque de 180 m. de eslora se encuentra en las siguientes condiciones: D = 12.000 Tm.; Cpr. = 5,30 m.; Cpp. = 6,50 m.; $\overline{KG}$ = 6,10 m.; $\overline{KM}$ = 7,20 m., $\overline{KM}_L$ = 170 m., $\overline{F}$ = 7,50 m. a popa de , Tc = 36 Tm.; Mu = 110 Tm.m./cm.

Debido a una explosión se produce una avería en el casco y se inunda un pañol en la sala de máquinas que no está limitado en altura cuyas dimensiones son: (base rectangular) eslora = 15 m., manga = 5 m. y altura 3 m., como tenía ciertos materiales en su interior el Kv = Ks = 0,60, la altura del agua en el compartimento es de 1,50 m. en el centro del mismo.

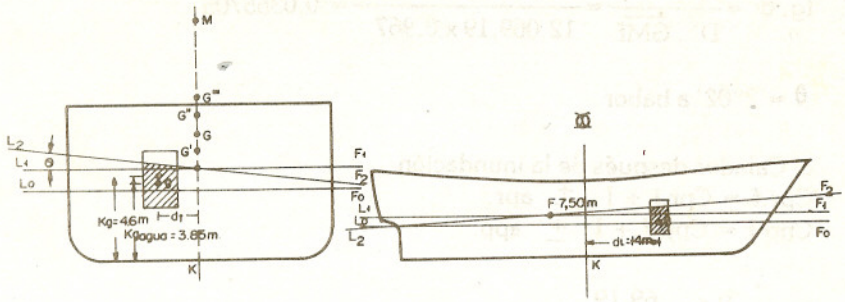
Las coordenadas del pañol son: $\overline{Kg}$ = 4,60 m., $\overline{g}$ = 14 m. a proa, $\overline{g}$ = 6 m. a Br.. Se pide:

a; Altura metacéntrica transversal y longitudinal después de la inundación
b) Escora después de la inundación
c) Calados finales.

Solución:

A = superficie de la base del compartimento = e . m = 15 x 5 = 75 m^2
v = volumen del agua inundada = A x altura = 75 x 1,5 = 112,5 m^3
p = v . δ = volumen x densidad = 112,5 x 1,025 = 115,31 Tm.
p_1 = p . Kv = peso agua embarcada = 115,31 x 0,60 = 69,19 Tm.
$\overline{Kg}$ del peso agua inundada = $\overline{Kg}$ pañol − 0,75 = 4,60 − 0,75 = 3,85 m.

a) $\overline{GMc} = \overline{GMi} \pm \overline{GG'} - \overline{G'G''} - \overline{G''G'''}$ (Altura metacéntrica transversal)
$\overline{GMi} = \overline{KM} - \overline{KG}$ = 7,20 − 6,10 = 1,10 m.



$$\overline{GG'} = \frac{p \cdot dv \cdot Kv}{D + p_1} = \frac{115{,}31 \times (6{,}10 - 3{,}85) \times 0{,}60}{D + p_1}$$

$$\overline{GG'} = \frac{155{,}67}{12.000 + 69{,}19} = + 0{,}013 \text{ m.}$$ (+ porque el g del peso está por debajo del G del buque)

$$\overline{G'G''} = \frac{i \cdot \delta}{D'} = \frac{15 \times 5^3 \times 1.025 \times 0{,}60}{12 \times 12.069{,}19} = \frac{1153{,}125}{144.830{,}28} = 0{,}008 \text{ m.}$$

$$\overline{G''G'''} = \frac{\delta \cdot A \times d_t^2 \cdot Ks}{D'} = \frac{1{,}025 \times 75 \times 6^2 \times 0{,}60}{12069{,}19} = \frac{1660{,}5}{12069{,}19} = 0{,}138 \text{ m.}$$

$\overline{GMc} = 1.10 + 0.013 - 0.008 - 0.138 = 0.967$ m.

$$\overline{GMc}_L = \overline{GM}_L - \frac{\delta \cdot d_F^2 \cdot A}{Df}$$ (Altura metacéntrica longitudinal)

$$\overline{GMc}_L = \overline{GM}_L - \frac{\delta(\overline{\text{Ø}F} + \overline{\text{Ø}g})^2 \cdot A}{Df} = 170 - \frac{1{,}025(7{,}50 + 14)^2 \times 75}{12.000 + 69{,}19}$$

$= 170 - 2.94 = 167.06$ m.

b) Escora

$$\text{tg. } \theta = \frac{p_1 \cdot d_t}{D' \cdot \overline{GMf}} = \frac{69{,}19 \times 6}{12.069{,}19 \times 0{,}967} = 0{,}0355705$$

$\theta = 2°02'$ a babor

c) Calados después de la inundación

$Cpr.f = Cpr.i + I \pm apr.$

$Cpp.f = Cpp.f + I \pm app.$

$$I = \frac{p_1}{Tc} = \frac{69{,}19}{36} = 1{,}92 \text{ cm.}$$

$$apr. = dpr. \frac{a}{E}$$

$$dpr. = E/2 + \overline{CF} = 180/2 + 7{,}50 = 97{,}50 \text{ m.}$$

$$a = \frac{p_1 \cdot d_F}{Mu} = \frac{69{,}19 \cdot (7{,}50 + 14)}{110} = \frac{1487{,}585}{110} = 13{,}52 \text{ cm. (aproante)}$$

$$apr. = 97{,}5 \times \frac{13{,}52}{180} = 7{,}32 \text{ (+) cm.}$$

$app. = a - app. = 13{,}52 - 7{,}32 = 6{,}2 \text{ cm. (−)}$

$Cpr.f = 5{,}30 + 0{,}02 + 0{,}07 = 5{,}39 \text{ m.}$;

$Cpp.f = 6{,}50 + 0{,}02 - 0{,}06 = 6{,}46 \text{ cm.}$

NOTA: En este ejercicio la inundación fue en un compartimento con carga en su interior, por lo tanto hubo que aplicarle los coeficientes de permeabilidad Kv y Ks, de volumen y de superficie respectivamente.

EJERCICIOS

1. Un buque tiene una avería provocada por el corrimiento de un cargamento de cabillas (hierro) que perfora el casco que da a la bodega N° 3 que tiene un volumen de 800 m^3. Se constata que la avería está a 1,2 m. bajo la línea de flotación y es de forma triangular de 15 cm. de altura por 10 cm. de base. Hallar en cuanto tiempo se inundará la bodega si posee carga en su interior cuyo Kv = 0,60 y la densidad del agua es de 1,025.

R.: 3 horas y 40 minutos.

2 Un buque tiene una colisión produciéndose una avería en un tanque profundo cuyas dimensiones son de e = 4 m., m = 7 m. y puntal = 5,6 quedando en libre comunicación con el mar. Habiéndose calculado el peso del agua embarcada siendo de 120 Tm.; las coordenadas del peso del agua embarcada son: $\overline{Kg}$ = 3 m., $\overline{\text{¢g}}$ = 3,5 m. a Er. y $\overline{\text{⌀g}}$ = 10 m. hacia proa. El buque se encontraba al inicio previo a la inundación en las siguientes condiciones: D = 4 800 Tm.; $\overline{KG}$ = 5,40 m.; $\overline{\text{⌀G}}$ = 0,80 m. hacia popa; $\overline{\text{⌀F}}$ = 0 m.; $\overline{KM}$ = 6,40 m. $\sum i_{\delta}$ = 330 Tm.m.; Cpr. = 4,10 m.; Cpp. = 5,00 m.; Tc = 13 Tm.; Mu = 80 Tm.m/cm. (El $\overline{KM}$ final no ha variado).

Se pide:

a) Calados finales
b) Altura metacéntrica corregida después de la inundación
c) Escora después de la inundación.

R: a) Cpr.f = 4,27 m., Cpp.f = 5,02 m.
b) $\overline{GMc}$ = 0,839 m.; c) θ = 5°48' a Er.

3 Una gabarra de forma paralelepípeda al tener un abordaje con un objeto sumergido, le causó una avería en el compartimento de babor central, provocando una inundación en el mismo, quedando con superficie libre y libre comunicación con el mar. Luego de esta inundación quedó con un calado medio de 3 m. y un $\overline{KG}$ = 1,67 m..

Las dimensiones de la gabarra son las siguientes: E = 150 m., M = 20 m., P = 10 m.; está dividida en 10 compartimentos estancos, 5 de ellos a babor y 5 a estribor de las mismas dimensiones, separados por un mamparo longitudinal que pasa por el plano de crujía. Previo al accidente se encontraba con calados iguales a 2,70 m. y un $\overline{KG}$ = 1,80 m.

Se pide:

a) El desplazamiento inicial y luego de la inundación
b) El $\overline{GM}$ antes y después de la inundación
c) Escora después de la inundación
d) Francobordo del costado escorado.

R: a) Di = 8 302,5 Tm. y Df = 9.225 Tm.; b) $\overline{GMi}$ = 11,90 m. y $\overline{GMf}$ = 9,85 m.; c) θ = 2°54' a Br.; d) Francobordo Br. = 6,49 m.

NOTA: El peso del agua embarcada en este último ejercicio, se consideró solamente aquella que entró por inmersión paralela.

CAPITULO XVII

VARADA - ENTRADA A DIQUE

17.1. VARADA. GENERALIDADES

Cuando un buque que está navegando toca su quilla en el fondo sin poder salir, se dice que el buque está varado o encallado. (*)

Se puede encallar en fondos duros, fangosos o rocosos. Luego de encallar es necesario una inspección en el interior del buque para saber si se ha producido alguna desgarradura en el casco que permita la entrada de agua en su interior.

Para sacar el buque de su varada se deben tener algunas consideraciones, tales como: la estabilidad, los pesos que se deben trasladar, cargar o descargar para que quede a flote, además otras que no estudiaremos aquí como, tipo de maniobra a efectuar, estado meteorológico o modo de realizar el cálculo de la marea.

Para nuestro estudio de estabilidad, calados y escora en caso de varada dividiremos en dos situaciones:

a) Buque varado en la vertical del centro de flotación

b) Buque varado en un punto cualquiera

17.2. BUQUE VARADO EN LA VERTICAL DEL CENTRO DE FLOTACION

Sea la Fig. XVII-1 un buque varado sobre el punto A que está en la vertical de F. existe una fuerza de reacción R sobre el fondo, que lo hace emerger de la flotación LoFo a L'F' sin escorarse ni cambiar el asiento.

Llamando a I la emersión entre las dos líneas de flotación y Tc las toneladas por centímetro de inmersión, el valor de R se calcula:

(*) Se debe hacer una diferencia entre la acción de varar un buque o encallar un buque; la primera es cuando un buque toca el fondo del mar voluntariamente, ya sea en una playa de fondo blando para la reparación de una avería o en un puerto o dársena por efecto de la marea: la segunda es cuando un buque toca el fondo del mar accidentalmente por negligencia o fuerza mayor, generalmente cuando ésto ocurre en fondos duros o arrecifes se producen averías con desgarramiento del casco e inundaciones. Entrar a un dique flotante, seco o varadero se dice también varar un buque.

A los efectos de la estabilidad se pueden considerar indistintamente estas dos acciones, por tal motivo no se establecerán diferencias en este Capítulo.

$R = I \cdot Tc$

La estabilidad se verá disminuida porque al aplicar la fuerza de reacción R en el fondo es como que se quitara un peso de ese lugar, entonces el centro de grave-

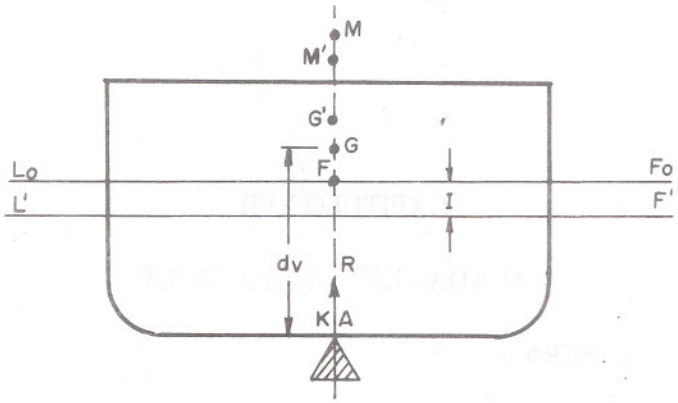


Fig. XVII - 1

dad G del buque se elevaría una distancia $\overline{GG'}$, que está dada por la fórmula de descarga de un peso p:

$$\overline{GG'} = \frac{p \cdot dv}{D - p} = \frac{R \cdot \overline{KG}}{D - R}$$

La altura metacéntrica se hallaría de la siguiente forma:

Como el buque cambia de carena al disminuir los calados, el metacentro que estaba en M puede pasar a la posición de M', entonces:

$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \overline{KG'} = \overline{KM'} - (\overline{KG} + \overline{GG'})$

$$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \overline{KG} - \frac{R \cdot \overline{KG}}{D - R} = \overline{KM'} - \frac{D \cdot \overline{KG}}{D - R}$$

17.3. ANULACION DE LA ESTABILIDAD

Para que la estabilidad se anule el $\overline{G'M'}$ debe ser igual a cero ($\overline{G'M'} = 0$), para ello, veamos qué valor debe tener la reacción R para que se anule dicha altura metacéntrica:

$$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \overline{KG} - \frac{R \cdot \overline{KG}}{D - R} = 0$$

Despejando R:

$$\overline{KM'} = \overline{KG} + \frac{R \cdot \overline{KG}}{D - R} = \frac{D \cdot \overline{KG} - R \cdot \overline{KG} + R \cdot \overline{KG}}{D - R} = \frac{D \cdot \overline{KG}}{D - R}$$

$$D \cdot \overline{KM'} - R \cdot \overline{KM'} = D \cdot \overline{KG}$$
$$D(\overline{KM'} - \overline{KG}) = R \cdot \overline{KM'}$$

$$R = \frac{D \cdot \overline{GM'}}{\overline{KM'}}$$

Conociendo la reacción R para que se anule la estabilidad, podemos calcular el decremento de calado $I = \frac{R}{Tc}$; por lo tanto los calados se hallarán:

Cpr.f = Cpr.i − I y Cpp.f = Cpp.i − I. Si llegara a bajar la marea y el buque emergiera hasta estos calados, se anularía el $\overline{GM}$ quedando el buque inestable peligrando darse la vuelta.

EJEMPLO N° 77. Un buque de 2000 Tm. de desplazamiento, ha varado en la vertical del centro de flotación; se encontraba inicialmente con Cpr. = 3,10 m., Cpp. = 3,50 m.; $\overline{KG}$ = 4,15 m.; $\overline{KM}$ = 4,80 m., Tc = 7,5 Tm.

Después de varar se observa que el buque emergió 0,30 m. y se obtiene la nueva altura del metacentro de las curvas hidrostáticas con (D − R)

$\overline{KM'}$ = 4,73 m., se pide:

1°) Reacción R en el punto de varada

2°) Calados finales, en los cuales se anula la estabilidad.

Solución:

1°) R = I . Tc = 30 x 7,5 = 225 Tm.

2°) Los calados finales al anularse la estabilidad serán:

$$R = \frac{D \cdot \overline{GM'}}{\overline{KM'}} = \frac{2000 \times (4{,}73 - 4{,}15)}{4{,}73} = \frac{2000 \times 0{,}58}{4{,}73} = 245{,}24 \text{ Tm.}$$

$$I = \frac{R}{Tc} = \frac{245{,}24}{7{,}5} = 32{,}7 \text{ cm.} = 33 \text{ cm. aprox.}$$

Cpr.f = 3,10 − 0,33 = 2,77 m.

Cpp.f = 3,50 − 0,33 = 3,17 m.

Como se puede apreciar el buque emergió paralelamente.

17.4. BUQUE VARADO EN UN PUNTO CUALQUIERA

Cuando un buque vara en un punto cualquiera distinto del centro de flotación F. le produce una alteración en el asiento hacia el extremo contrario al de varada y una escora hacia el costado opuesto al de varada.

Estudiaremos estos casos corriendo el punto de varada hacia proa o popa del plano transversal que pasa por el centro de flotación F, una distancia d_F y luego se lleva hacia babor o estribor del plano diametral ℄ , una distancia $d_{\bar{t}}$.

17.4.1. Varada fuera del plano transversal que pasa por el centro de flotación F

Supongamos que la varada es en un punto A, Fig. XVII-2, a popa del centro de flotación F, una distancia del mismo d_F, la fuerza de reacción R en el casco equivale a descargar un peso en ese punto igual a esa reacción.

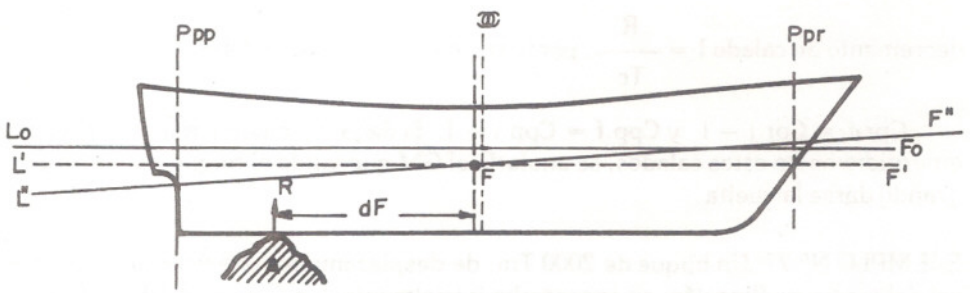


Fig. XVII - 2

Al varar el buque en el punto A, los calados van a tener una disminución en el centro de flotación F y una alteración en el asiento de signo contrario al punto de varada, es decir que si el punto de varada se halla a popa, la alteración será negativa o aproante y si el punto de varada se encuentra a proa, la alteración será positiva o apopante.

Se puede establecer que:

$p \cdot d_L = R \cdot d_F = a \cdot Mu$

$p = R$ = peso a descargar en el punto A que es igual a la reacción R

$d_L = d_F$ = distancia longitudinal del peso a descargar a F que es igual a la distancia del punto de varada A al de flotación F.

De las igualdades anteriores se deduce:

$$R = \frac{a \cdot Mu}{d_F}$$

a = alteración = Af − Ai

$d_F = \overline{\text{Ⅲ}A} \pm \overline{\text{Ⅲ}F}$ ($\overline{\text{Ⅲ}A}$ es la distancia longitudinal de la cuaderna maestra al punto de varada A)

$\overline{\text{Ⅲ}F}$ y Mu se obtienen de las curvas hidrostáticas entrando con el calado medio después de haber varado Cm.f o con D − R.

Luego de haber hallado R mediante la fórmula antes mencionada, se procede a

desencallar el buque por medio de corrimiento, carga o descarga de pesos que estudiaremos en el Epígrafe 17-5.

Para calcular los calados en los cuales se anula la estabilidad se procede de la siguiente manera:

Llamando Ro a la reacción que anula la estabilidad o sea $\overline{G'M'} = 0$, aplicando la fórmula del Epígrafe 17-3, se tiene:

$$Ro = \frac{D \cdot \overline{GM'}}{\overline{KM'}}$$

Los calados al anularse la estabilidad serán:

$Cpr.f = Cpr. - I \pm apr.$

$Cpp.f = Cpp. - I \pm app.$

$$I = \text{Emersión} = \frac{Ro}{Tc}$$

$$a = \frac{Ro \cdot d_F}{Mu} \; ; \; apr. = dpr.\frac{a}{E} ; \; app. = a - apr.$$

EJEMPLO N° 78. El atunero «Aratz» zarpa del puerto de Guanta con los siguientes calados: Cpr. = 5,32 m., Cpp. = 5,64 m., en la maniobra de salida vara en un punto A que se encuentra a una distancia de 6 m. a proa de la cuaderna maestra, quedando con los calados después de la varada: Cpr.f = 4,80 m., Cpp.f = 5,40 m..

Se pide:

a) La reacción R en el punto de varada

b) Los calados para anular la estabilidad si el $\overline{KG}$ = 4,95 m..

Solución:

a) Cálculo de la reacción R

$$R = \frac{a \cdot Mu}{d_F}$$

a = Af − Ai ; Af = Cpp.f − Cpr.f = 5,40 − 4,80 = 0,60 m. = 60 cm. apopante

Ai = Cpp. − Cpr. = 5,64 − 5.32 = 0,32 m. = 32 cm. apopante

a = 60 − 32 = 28 cm. apopante.

Entrando en las curvas hidrostáticas con el Cm.f de trazado se obtienen: Tc.: Mu.: $\overline{Ppp.F}$; $\overline{KM'}$.

$$\text{Cm.f de trazado} = \frac{Cpr.f + Cpp.f}{2} - 0{,}32 = \frac{4{,}80 + 5{,}40}{2} - 0{,}32 = 4{,}78 \text{ m.}$$

$\overline{Tc} = 28{,}2 \times 0{,}2 = 5{,}64$ m.; $Mu = 42{,}5 \times 0{,}5 = 21{,}25$ Tm.m./cm.;
$\overline{KM} = 53{,}8 \times 0{,}1 = 5{,}38$ m.; $\overline{Ppp.F} = 24{,}13$ m. = dpp;
dpr. = E − dpp. = 56,1 − 24,13 = 31,97 m.;
$d_F = \overline{AF} = \overline{AA} + (E/2 - \overline{Ppp.F}) = 6{,}00 + 56{,}1/2 - 24{,}13 =$
$= 9{,}92$ m.

$$R = \frac{28 \times 21{,}25}{9{,}92} = 59{,}98 \text{ Tm.}$$

b) Cálculo de los calados cuando $\overline{GM} = 0$

$$Ro = \frac{D \cdot \overline{GM'}}{\overline{KM'}}$$

D = desplazamiento antes de varar, se obtiene de las curvas hidrostáticas, entrando con el Cm.i de trazado.

$$\text{Cm.i trazado} = \frac{Cpr. + Cpp.}{2} - 0{,}32 = \frac{5{,}32 + 5{,}64}{2} - 0{,}32 = 5{,}16 \text{ m.}$$

$D = 2.175$ Tm.; $\overline{GM'} = \overline{KM'} - \overline{KG} = 5{,}38 - 4{,}95 = 0{,}43$ m.

$$Ro = \frac{2.175 \times 0{,}43}{5{,}38} = 173{,}838 \text{ Tm.}$$

Cpr.f = Cpr. − I − apr.
Cpp.f = Cpp. − I + app.

$$I = \text{Emersión} = \frac{Ro}{Tc} = \frac{173{,}838}{5{,}64} = 30{,}8 \text{ cm.} = 0{,}31 \text{ m. aprox.}$$

$$a = \frac{Ro \cdot d_F}{Mu} = \frac{173{,}838 \times 9{,}92}{21{,}25} = \frac{1724{,}47}{21{,}25} = 81 \text{ cm.} = 0{,}81 \text{ m. apopante}$$

$$apr. = dpr. \frac{a}{E} = \frac{31{,}97 \times 81}{56{,}1} = 46 \text{ cm.} = 0{,}46 \text{ m.}$$

app. = a − apr. = 81 − 46 = 35 cm. = 0,35 m.
Cpr.f = 5,32 − 0,31 − 0,46 = 4,55 m.
Cpp.f = 5,64 − 0,31 + 0,35 = 5,68 m.

17.4.2. Varada en un punto cualquiera considerando la marea

Después que un buque vara, una de las precauciones más importantes, es la de considerar el estado de la marea (si fuera en un río si éste está bajando o creciendo); ya que si en el momento de la varada es baja mar, el buque tiene posibilidades de quedar a flote en pleamar, porque al crecer la marea la reacción R va a ser menor, dependiendo de la amplitud de la misma.

Sucede lo contrario si un buque vara en pleamar y luego comienza a bajar la marea, entonces la reacción se va haciendo mayor, el calado medio y la estabilidad van disminuyendo.

Por lo expuesto, la condición más delicada cuando se encalla, es la del instante de la pleamar o próximo a ella, entonces se deben efectuar los cálculos de estabilidad para cuando llegue la altura mínima de la marea o bajamar, donde la altura metacéntrica $\overline{GM}$ se puede anular o pasar a valores negativos, produciéndole al buque una escora que en caso extremo puede dar la vuelta de campana.

Supongamos en la Fig. XVII-3, el buque se encuentra varado en el punto A y luego desciende la marea una altura $\overline{sn}$. Conociendo la distancia de la varada del punto A al centro de flotación F, d_F, se puede calcular la reacción R' causada en el punto A por descenso de la marea, la cual se sumará a la reacción R provocada por la varada inicialmente. Ver Epígrafe 17-4-1.

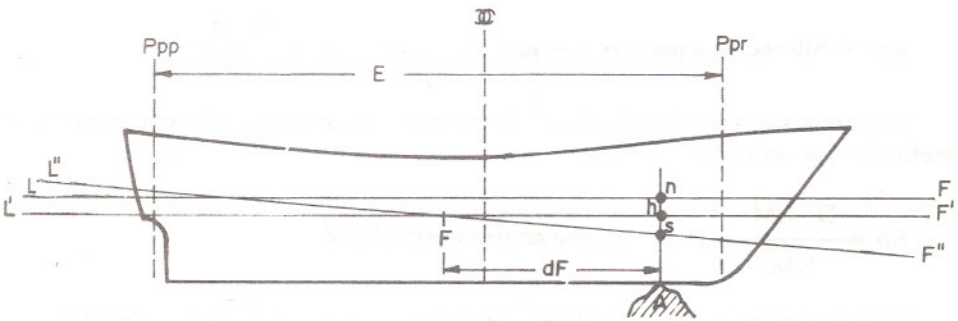


Fig. XVII-3

Distancia del descenso de la marea: $\overline{sn} = \overline{sh} + \overline{hn}$

$$\overline{sh} = d_F \cdot tg\ \theta_L = d_F \cdot \frac{a}{E} = d_F \cdot \frac{R' \cdot d_F}{Mu} \cdot \frac{1}{E} = \frac{R' \cdot d_F^{\,2}}{Mu \cdot E}$$

$$\overline{hn} = \frac{R'}{Tc}\ ;\ R' = \text{Reacción en el punto A provocada por la marea.}$$

$$\overline{sn} = \frac{R' \cdot d_F^{\,2}}{Mu \cdot E} + \frac{R'}{Tc} = \frac{R' \cdot d_F^{\,2} \cdot Tc + R' \cdot Mu \cdot E}{Tc \cdot Mu \cdot E} = R' \frac{(d_F^{\,2} \cdot Tc + Mu \cdot E)}{Tc \cdot Mu \cdot E}$$

La reacción R' por descenso de la marea, se despeja de la fórmula anterior:

$$R' = \frac{\overline{sn} \cdot Tc \cdot Mu \cdot E}{d_F{}^2 \cdot Tc + Mu \cdot E}$$

Los calados luego del descenso de la marea, habiendo previamente calculado la reacción R', se hallan de la siguiente manera:

Calado de proa al bajar la marea = Cpr.' = Cpr.f $-$ I' $\frac{\pm}{-}$ apr.

Calado de popa al bajar la marea = Cpp.' = Cpp.f $-$ I' $\frac{\mp}{+}$ app.

$$I' = \text{Emersión paralela} = \frac{R'}{Tc} = \overline{hn}$$

Cpr.f = Calado de proa al varar

Cpp.f = Calado de popa al varar

$$apr. = \text{Alteración a proa} = dpr.\frac{a}{E}$$

$$app. = \text{Alteración a popa} = a - apr.\ ;\ a = \text{alteración} = \frac{R' \cdot d_F}{Mu}$$

Habíamos visto en el Epígrafe 17-3, que para hallar la reacción que anulaba la estabilidad, se utilizaba la fórmula:

$$Ro = \frac{D \cdot \overline{GM'}}{\overline{KM'}} = \text{Reacción que anula la estabilidad}$$

Para que se anule la estabilidad del buque considerando el descenso de la marea, se tiene que cumplir la siguiente igualdad:

Ro = R + R' ; de donde

R' = Ro $-$ R

Estando el buque varado y conociendo R', reacción por descenso de la marea para anular la estabilidad, se puede calcular la altura que debe bajar la marea para que el buque quede en equilibrio inestable.

$$R' = \frac{\overline{sn} \cdot Tc \cdot Mu \cdot E}{d_F{}^2 \cdot Tc + Mu \cdot E}$$

$$\overline{sn} = \frac{R'(d_F{}^2 \cdot Tc + Mu \cdot E)}{Tc \cdot Mu \cdot E}$$

$\overline{sn}$ = distancia que debe descender la marea para que el buque quede inestable.

EJEMPLO N° 79. Un buque se encuentra en las siguientes condiciones: Cpr. = 4,50 m., Cpp. = 4,70 m., D = 2.800 Tm., Tc = 6 Tm., Mu = 25 Tm.m/cm., E = 60 m., vara en un punto A cuyas coordenadas son: $\overline{\text{⌧}A}$ = 12 m. hacia proa, $\overline{\text{℄}A}$ = 2 m. a babor.

Se pide:

a) La reacción R en el punto de varada A, si el buque quedó con los siguientes calados: Cpr.f = 4,00 m.; Cpp.f = 4,60 m., se obtuvo de las curvas hidrostáticas $\overline{\text{⌧}F}$ = 2 m. hacia popa, $\overline{KM'}$ = 5,10 m., los otros datos no variaron.

b) La reacción R' al bajar la marea 0,20 m. (baja mar).

c) Calados en baja mar.

d) La reacción que anularía la estabilidad.

Solución:

$$\text{a) } R = \frac{a \cdot Mu}{d_F}$$

a = Af − Ai

Af = Cpp.f − Cpr.f = 4,60 − 4,00 = 0,60 m. apopado

Ai = Cpp. − Cpr. = 4,70 − 4,50 = 0,20 m. apopado

a = 0,60 − 0,20 = 0,40 m. hacia popa

$d_F = \overline{\text{⌧}A} + \overline{\text{⌧}F} = 12 + 2 = 14$ m.

$$R = \frac{40 \times 25}{14} = 71{,}43 \text{ Tm.}$$

$$\text{b) } R' = \frac{\overline{sn} \cdot Tc \cdot Mu \cdot E}{d_F^{\,2} \cdot Tc + Mu \cdot E} = \frac{20 \times 6 \times 25 \times 60}{14^2 \times 6 + 25 \times 60} = \frac{180.000}{2.676} = 67{,}26 \text{ Tm.}$$

c) Calado de proa en baja mar = Cpr.f − I' − apr. = Cpr.'

Calado de popa en baja mar = Cpr.f − I' + app. = Cpp.'

$$I' = \frac{R'}{Tc} = \frac{67{,}26}{6} = 11{,}21 \text{ cm.} = 0{,}11 \text{ m.}$$

$$a = \frac{R' \cdot d_F}{Mu} = \frac{67{,}26 \times 14}{25} = 37{,}67 \text{ cm.} = 0{,}38 \text{ m. aprox. (apopante)}$$

$$apr. = dpr. \frac{a}{E} = \frac{32 \times 37{,}67}{60} = 20{,}08 \text{ cm.} = 0{,}20 \text{ m. aprox.}$$

app. = a − apr. = 38 − 20 = 18 cm. = 0,18 m.

Cpr.' = 4,00 − 0,11 − 0,20 = 3,69 m.

Cpp.' = 4,60 − 0,11 + 0,18 = 4,67 m.

d) Reacción para anular la estabilidad = $Ro = \frac{D \ \overline{GM'}}{\overline{KM'}}$

$$Ro = \frac{2.800 \times (5{,}10 - 4{,}10)}{5{,}10} = \frac{2{,}800}{5{,}10} = 549{,}02 \text{ Tm.}$$

17.4.3. Varada fuera del plano diametral

Supongamos que el punto de varada es en el punto A, a una distancia del plano diametral d_t, Fig. XVII-4, entonces el buque se escorará hacia el costado opuesto a la varada un ángulo θ, porque la reacción R que ejerce sobre el casco equivale a descargar un peso p = R en el punto de varada.

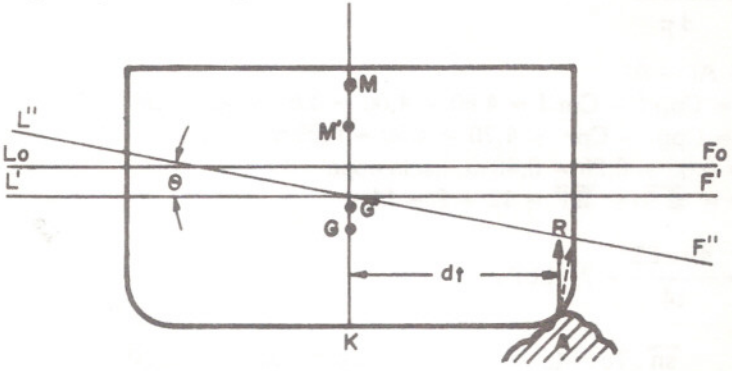


Fig. XVII - 4

Si conocemos la distancia d_t al punto de varada A y la reacción R, la escora θ no tendría objeto calcularla debido a que la podemos obtener en el clinómetro del buque.

La altura metacéntrica $\overline{G'M'}$ la podemos calcular por la fórmula:

$$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \frac{D \cdot \overline{KG}}{D - R}$$

Este $\overline{G'M'}$ está corregido por la reacción R y por superficies libres de tanques con líquidos.

Si se desea calcular la escora en que quedará el buque, conociendo el descenso de la marea $\overline{sn}$, se procede de la siguiente manera:

Se calcula la reacción R' por descenso de marea por la fórmula siguiente:

$$R' = \frac{\overline{sn} \cdot Tc \cdot Mu \cdot E}{d_F{}^2 \cdot Tc + Mu \cdot E} \quad \text{(Epígrafe 17-4-2)}$$

La reacción en el punto A después del descenso de la marea será la suma de R (reacción al varar) más la R' (reacción por descenso de la marea) que la llamaremos R''.

$$R'' = R + R'$$

Entonces la escora θ '' considerando el descenso de la marea en una altura intermedia o en baja mar, se calcularía:

$$tg\ .\ \theta\ '' = \frac{(R + R')\, d_t}{[D - (R + R')]\ .\ \overline{G'M'}} = \frac{R''\ .\ d_t}{(D - R'')\overline{G'M'}}$$

EJEMPLO N° 80. Hallar la escora que tendría el buque del Ejemplo N° 79 al bajar la marea 20 cm.

$$tg\ .\ \theta\ '' = \frac{R''\ .\ d_t}{(D - R'')\overline{G'M'}}$$

$R'' = R + R' = 71{,}43 + 67{,}26 = 138{,}69$ Tm.

$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - (\overline{KG} + \overline{GG'})$

$\overline{KM'} = 5{,}10$ m. considerando que no varió al bajar la marea

$$\overline{GG'} = \frac{R''\ .\ \overline{KG}}{(D - R'')} = \frac{138{,}69 \times 4{,}10}{2.800 - 138{,}69} = \frac{568{,}629}{2.661{,}31} = 0{,}21 \text{ m.}$$

$$\overline{G'M'} = 5{,}10 - (4{,}10 + 0{,}21) = 0{,}79 \text{ m.}$$

$$tg\ .\ \theta\ '' = \frac{138{,}69 \times 2}{2.661{,}31 \times 0{,}79} = \frac{277{,}38}{2.102{,}43} = 0{,}131933$$

$\theta\ '' = 7°31'$ a Er.

17.5. DETERMINACION DE LOS PESOS A DESCARGAR, TRASLADAR O CARGAR PARA QUEDAR LIBRE DE LA VARADA

Al encallar un buque se procede en primera instancia a salir de la misma por nuestros propios medios antes de solicitar auxilio.

Para que un buque quede libre de su varada, se debe aplicar un momento igual pero contrario al que origina la varada.

Por lo dicho anteriormente, un buque al varar en un punto A produce una reacción R en ese punto, si se descarga un peso p igual a R sobre la vertical de A, la reacción R se anularía y el buque quedaría libre de la varada.

Muchas veces no se puede efectuar esa operación de descarga sobre la vertical del punto de varada, entonces se procede a producir un momento para anular al de varada mediante descarga, traslado o carga de pesos.

En la Fig. XVII-5, un buque se encuentra varado en un punto A que está a una distancia d_F a proa del centro de flotación F, este buque puede quedar libre de la varada de las siguientes maneras:

a) Descargando pesos que se encuentran hacia proa de F.

b) Trasladando pesos longitudinalmente de proa hacia popa.

c) Cargando pesos hacia popa de F.

d) Efectuando operaciones combinadas según indican los ítems a, b y c.

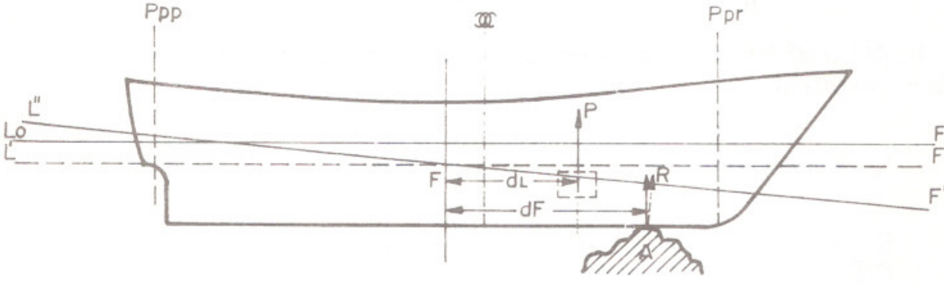


Fig. XVII - 5

Si el punto de varada A estuviera a popa de F se procedería en forma inversa a lo dicho anteriormente.

Supongamos el caso de la Fig. XVII-5, y se quiera sacar el buque de la varada mediante la descarga de un peso p que se halla a una distancia d_L del centro de flotación F, para ello, se establece la igualdad de momentos siguientes:

$$p \cdot d_L = R \cdot d_F$$

de donde: $p = \dfrac{R \cdot d_F}{d_L}$; p es el peso que se debe descargar para quedar libre de la varada.

EJEMPLO N° 81. El buque atunero «Aratz» varó en un punto A cuyas coordenadas son: $\overline{KA}$ = 0 m.; $\overline{⊗A}$ = 5,5 m. hacia proa y $\overline{℄A}$ = 1 m. a Er.. Los calados en el momento de la varada eran Cpr. = 5,20 ; Cpp. = 5,80 m.; luego de varar los calados quedaron Cpr.f = 4,80 m.; Cpp.f = 5,70 m..

Se pide:

a) Las toneladas de agua de mar que se deben deslastrar de las cubas No. 2 Br. y Er. para quedar libre de la varada, si las mismas tienen un total de 136 Tm.

b) Las toneladas de gas oil que se deben trasladar del D.F. No. 1 al rasel de popa que se encuentra vacío para quedar libre de la varada, en caso que no sea suficiente el achique de las cubas No. 2, después que la marea haya bajado 0,35 metros.

c) Los calados que tendrá el buque en el momento que la marea haya bajado 0,35 m.

d) La altura metacéntrica al descender la marea 0,35 m. siendo el $\overline{KG}$ antes de varar de 4,80 m.

e) La escora que tendrá el buque al bajar la marea 0,35 m.

NOTA: Para resolver este ejercicio se deben obtener ciertos datos suministrados en el Capítulo 14 en la información de estabilidad del buque «Aratz».

Solución:

$$a)\ R = \frac{a \cdot Mu}{d_F};\ a = Af - Ai$$

Af = Cpp.f − Cpr.f = 5,70 − 4,80 = 0,90 m. apopado
Ai = Cpp. − Cpr. = 5,80 − 5,20 = 0,60 m. apopado
a = 0,90 − 0,60 = 0,30 m. = 30 cm. hacia popa

$$Cm.f\ trazado = \frac{Cpr.f + Cppf}{2} - 0,32 = \frac{4,80 + 5,70}{2} - 0,32 = 4,93\ m.$$

Se obtiene de las curvas hidrostáticas: Mu = 44 x 0,5 = 22 Tm.m./cm.; Tc = 28,7 x 0,2 = 5,74 Tm., $\overline{Ppp.F}$ = 24 m.;

$d_F = \overline{GA} + \overline{GF} = \overline{GA} + (E/2 - \overline{Ppp.F}) = 5,50 + 56,10/2 - 24,00 = 9,55$ m.

$$R = \frac{30 \times 22}{9,55} = \frac{660}{9,55} = 69,11\ Tm.$$

$$p = \frac{R \cdot d_F}{d_L} = \text{Peso del agua de mar que se debe deslastrar de las cubas No. 2.}$$

d_L = distancia longitudinal del c. de g. cubas No. 2 a F
$d_L = \overline{Ppp.g} - \overline{Ppp.F} = 32,42 - 24,00 = 8,42$ m.

$$p = \frac{69,11 \times 9,55}{8,42} = \frac{660}{8,42} = 78,38\ Tm.$$

$$b)\ R' = \frac{\overline{ns} \cdot Tc \cdot Mu \cdot E}{d_F^{\,2} \cdot Tc + Mu \cdot E} = \text{Reacción por descenso de la marea}$$

R'' = R + R' = Reacción en el punto A al bajar la marea 0,35 m.

$$R' = \frac{35 \times 5{,}74 \times 22 \times 56{,}1}{9{,}55^2 \times 5{,}74 + 22 \times 56{,}1} = \frac{247.950{,}78}{1.757{,}70} = 141{,}07 \text{ Tm.}$$

$R'' = 69{,}11 + 141{,}07 = 210{,}18$ Tm.

Para que el buque quede libre de la varada, se establece la igualdad de momento siguiente:

Momento por R'' = Momento deslastre cubas + Momento por traslado combustible

$R'' \cdot d_F = p' \cdot d_L + X \cdot d_L'$

p' = peso deslastre agua cubas = 136 Tm.

X = peso del combustible a trasladar

d_L' = distancia longitudinal entre el D.F. No. 1 y el rasel de popa

$d_L' = 32{,}75 + 1{,}91 = 34{,}66$ m.

$$X = \frac{R'' \cdot d_F - p' \cdot d_L}{d_L'} = \frac{210{,}18 \times 9{,}55 - 136{,}00 \times 8{,}42}{34{,}66} = \frac{862{,}099}{34{,}66} =$$

$X = 24{,}87$ Tm.

c) Cpr.' = Cpr.f − I' − apr. = Calado de proa al bajar la marea

Cpp.' = Cpp.f − I' + app. = Calado de popa al bajar la marea

$$I' = \text{Emersión paralela por reacción } R' = \frac{R'}{Tc} = \frac{141{,}07}{5.74} = 24{,}6 \text{ cm.} = 0{,}25 \text{ m.}$$

$$a = \frac{R' \cdot d_F}{Mu} = \frac{141{,}07 \times 9{,}55}{22} = 61{,}2 \text{ cm. hacia popa}$$

$$app = dpp. \frac{a}{E} = \frac{24 \times 61{,}2}{56{,}1} = 26 \text{ cm.} = 0{,}26 \text{ m.}$$

apr. = a − app. = 61 − 26 = 35 cm. = 0,35 m.

Cpr.' = 4,80 − 0,25 − 0,35 = 4,20 m.

Cpp.' = 5,70 − 0,25 + 0,26 = 5,71 m.

d) $\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \overline{KG} - \frac{R'' \cdot \overline{KG}}{D - R''}$ (Altura metacéntrica al descender la marea)

Con el Cm.i trazado antes de varar se obtiene el desplazamiento D en las curvas hidrostáticas.

$$\text{Cm.i trazado} = \frac{\text{Cpr.} + \text{Cpp.}}{2} - 0{,}32 = \frac{5{,}20 + 5{,}80}{2} - 0{,}32 = 5{,}18\ \text{m.}$$

D = 2.190 Tm. ;

D − R'' = 2.190 − 210,18 = 1.979,82 Tm. con este desplazamiento se entra en las curvas hidrostáticas para obtener el $\overline{KM'}$ = 54 x 0,1 = 5,40 m.

$$\overline{G'M'} = 5{,}40 - 4{,}80 - \frac{210{,}18 \times 4{,}80}{2.190 - 210{,}18} = 0{,}09\ \text{m. (positiva)}$$

Como se puede apreciar el $\overline{G'M'}$ al descender la marea es muy pequeño. Al realizar las operaciones pedidas en a y b, el buque quedará con la altura metacéntrica negativa. Veamos a modo de ejemplo el valor de la altura metacéntrica al deslastrar las cubas No. 2 = 136 Tm. = Pc.

$\overline{G''M''} = \overline{KM''} - (\overline{KG'} + \overline{G'G''})$

$\overline{KM''}$ se obtiene de las curvas hidrostáticas con el desplazamiento (D − R'' − Pc) = 2.190 − 210,18 − 136 = 1843,82 Tm.; $\overline{KM''}$ = 53,3 x 0,1 = 5,33 m.

$$\overline{KG'} = 4{,}80 + \frac{4{,}80 \times 210{,}18}{2.190 - 210{,}18} = 5{,}31\ \text{m.}$$

$$\overline{G'G''} = \frac{\text{Pc} \cdot \text{x dv}}{(\text{D} - \text{R}'' - \text{Pc})} = \frac{136 \times 1{,}63}{1843{,}82} = 0{,}12\ \text{m.}$$

dv = distancia vertical entre los centros de gravedad de las cubas No. 2 y el del buque: $\overline{KG'} - \overline{Kg} = 5{,}31 - 3{,}68 = 1{,}63$ m.

$\overline{G''M''}$ = 5,33 − (5,31 + 0,12) = − 0,10 m. (la altura metacéntrica pasa a ser negativa al deslastrar las cubas No. 2).

Las cubas No. 2 no se deben deslastrar, porque el buque queda inestable y corre el riesgo de darse la vuelta.

e) La escora al bajar la marea 35 cm..

$$\text{tg}\ \theta'' = \frac{R''\ d_t}{(D - R'')\ \overline{G'M'}} = \frac{210{,}18\ .\ 1{,}00}{(2.190 - 210{,}18)\ .\ 0{,}09} = 1{,}17957$$

Debido a que este ángulo θ '' es mayor que 10°, esta fórmula no nos da un valor exacto, porque al inclinarse el buque, el metacentro M cambia de posición al variar la carena. Entonces, se debe hallar la escora gráficamente, trazando las curvas de brazos $\overline{GZ}$ adrizantes y de brazos escorantes $\overline{GG_t} \cos \theta$ (Epígrafe 11-3).

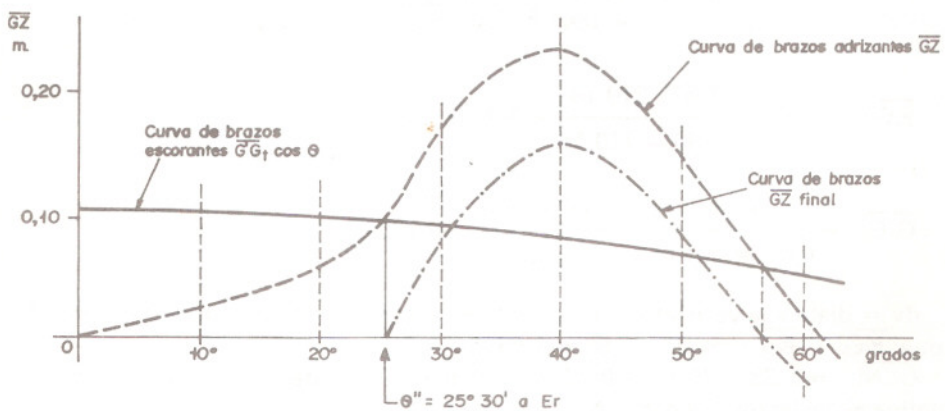
Conocemos los siguientes valores del buque varado al bajar la marea:

$D' = D - R'' = 2.190 - 210{,}18 = 1.979{,}82$ Tm.; $\overline{KM'} = 5{,}40$ m.; $\overline{KG'} = 5{,}31$ m.

$$\overline{G'M'} = 0{,}09 \text{ m.}\ ; \overline{G'G_t} = \frac{p \times d_t}{D'} = \frac{R'' \ \overline{\text{¢A}}}{D'} = \frac{210{,}18 \times 1{,}00}{D'} = 0{,}106 \text{ m.Br.}$$

θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\overline{KN}$	0,95	1,88	2,82	3,65	4,22	4,62
$\overline{KG'}$ sen θ	0,92	1,82	2,65	3,41	4,07	4,60
$\overline{GZ}$	0,03	0,06	0,17	0,24	0,15	0,02
$\overline{G'G_t}$ cos θ	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05
$\overline{GZ}$ final	−0,07	−0,04	0,08	0,16	0,08	−0,03

Luego se traza en un par de ejes coordenados las curvas de brazos $\overline{GZ}$ y $\overline{G'G_t}$ cos θ y donde se intercepten será el ángulo de equilibrio estático o ángulo de escora que tendrá el buque.



El ángulo de escora θ '' = 25°30' a babor, después de bajar la marea 0,35 m.

17.6. ENTRADA A DIQUE. GENERALIDADES

Al entrar un buque a dique, luego que se achica el agua si fuera un dique seco o asciende en caso de dique flotante, el buque va a tocar primeramente la parte de popa de la quilla llamada codaste, debido a que los buques en condiciones normales al entrar tienen un asiento apopante.

Al ir bajando el nivel del agua, la reacción en el codaste va aumentando hasta apoyar toda la quilla y la estabilidad disminuye.

17.7. CALCULO DE LA REACCION R EN EL CODASTE

Supongamos en la Fig. XVII-6, donde un buque al entrar a dique tiene la línea de flotación LoFo; el punto A, donde se apoya el codaste sobre los picaderos; la línea de flotación cuando el buque apoya toda la quilla sobre los picaderos es L'F'; mientras que L''F'' es la línea de flotación que tendrá el buque apoyado sobre los picaderos al mover el buque, pero como no lo rotamos, lo hacemos con la línea de flotación según se indica en la figura.

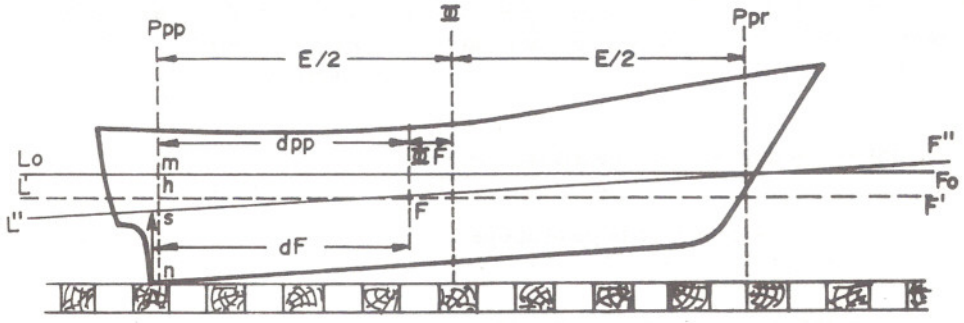


Fig. XVII - 6

Los valores de la reacción R serán los siguientes:

a) Al tocar los picaderos, R = 0 (cero)

b) En un punto intermedio de su asiento, $R = \frac{a \cdot Mu}{d_F}$

c) Al apoyar toda la quilla sobre los picaderos, $R = \frac{A \cdot Mu}{d_F}$

Siendo:

a = alteración

A = asiento

Mu = momento unitario

d_F = distancia del codaste en el punto de apoyo sobre los picaderos al centro de flotación F.

Como se puede apreciar en el dibujo esta distancia d_F es casi igual a dpp que es la distancia del centro de flotación F a la perpendicular de popa Ppp.

Entonces podemos establecer sin mucho error, que:

$d_F = dpp = E/2 \pm \overline{mF}$

Estos valores se sustituyen en las fórmulas anteriores.

Si la cama de los picaderos tuviera una pendiente i que está dada en centímetros por metro, la resistencia máxima estará dada por:

$$R = \frac{(A - i \cdot E) \cdot Mu}{d_F}$$

En caso que el dique sea flotante la pendiente de los picaderos se puede variar cambiando el asiento del dique, por esta razón cuando un buque tiene un asiento grande y no se puede disminuir es más conveniente entrar en dique flotante.

Este cálculo tiene mucha importancia para saber cuando la quilla asiente totalmente sobre la cama de los picaderos. Desde el momento que el codaste toca los picaderos y comienza a disminuir el calado de popa, la reacción R aumenta hasta que se hace máxima, instantes antes de tocar toda la quilla sobre los picaderos.

Para hallar el calado de popa cuando la quilla del buque queda asentada totalmente sobre los picaderos, se procede de la siguiente forma: (Ver Fig. XVII-6)

$\overline{nm}$ = Cpp = calado de popa al tocar el codaste sobre los picaderos

$\overline{hm}$ = I = emersión paralela o sea $I = \frac{R}{Tc}$

$\overline{ns}$ = C'pp = calado de popa al apoyar toda la quilla sobre los picaderos

$\overline{sh}$ = app = alteración del calado de popa o sea $app = \frac{a}{E}$. dpp, como la alteración a = A(asiento) al apoyar toda la quilla, nos queda: $app = \frac{A}{E}$. dpp

$\overline{ns} = \overline{nm} - \overline{sm} = \overline{nm} - (\overline{hm} + \overline{sh})$; sustituyendo valores tenemos:

$$C'pp = Cpp - \left(\frac{R}{Tc} + \frac{A}{E} . dpp\right)$$

17.8. CALCULO DE LA ESTABILIDAD AL APOYAR TODA LA QUILLA SOBRE LOS PICADEROS

Al ir descendiendo el agua e ir aumentando la resistencia R, la estabilidad del buque va disminuyendo debido a que el centro de gravedad del buque se eleva porque la reacción R que actúa como si se desembarcara un peso del punto de apoyo de la varada y que sería en el codaste.

El metacentro M disminuye de altura generalmente debido a la forma de la carena, puesto que por lo general disminuye la superficie de flotación al disminuir el calado.

Cuando estudiamos varada en el centro de flotación F (Epígrafe 17-2) vimos que: $\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \frac{D . \overline{KG}}{D - R}$

Cuando el buque apoya toda la quilla sobre los picaderos, la altura metacéntrica $\overline{G'M'}$ se hace mínima, y puede llegar a ser negativa, escorándose el buque hacia un costado. Por ello, se debe efectuar el cálculo previo de esta altura metacéntrica, y colocar unos picaderos laterales llamados escoras, los cuales se calculan previamente a la entrada a dique, mediante el plano de varada o de entrada a dique. Fig. XVII-7.

Hay diques que utilizan puntales que se colocan desde el dique al casco del buque para evitar que el buque se escore, además de las escoras.

Siempre que se vaya a entrar a dique se debe hacer con un asiento pequeño para que la reacción R sea mínima; reducir al mínimo los pesos que componen el peso muerto y realizar los cálculos de estabilidad previos a la entrada.

EJEMPLO N° 82. Un buque se encuentra en las siguientes condiciones: Cpr. = 4,10 m.; Cpp = 4,70 m.; D = 4,100 Tm.; E = 84 m.; Mu = 80 Tm.m.; Tc = 8,6 Tm.; $\overline{\text{CF}}$ = 2,5 m. a popa, $\overline{KG}$ = 3,82 m.

En las condiciones antes mencionadas, va a entrar a dique, se desea saber:

a) Reacción máxima que soportará el codaste

b) Calado de popa al apoyar toda la quilla sobre los picaderos.

Solución:

a) La reacción máxima será R instantes antes de apoyar toda la quilla sobre los picaderos.

$$A = Cpp - Cpr = 4,70 - 4,10 = 0,60\,m.\ (+)$$

$$R = \frac{A \times Mu}{d_F}$$

$$d_F = E/2 - \overline{\text{CF}} = 84/2 - 2,5 = 42 - 2,5 = 39,5\,m.$$

$$R = \frac{60 \times 80}{39.5} = \frac{4800}{39.5} = 121,52\,Tm.$$

b) El calado de popa cuando el buque apoye toda su quilla será:

$$C'pp = Cpp - \left(\frac{R}{Tc} + \frac{A}{E} \cdot dpp\right)$$

$Cpp = 4.70\,m. = 470\,cm.$

$dpp = d_F$ (aproximadamente)

$$C'pp = 470 - \left(\frac{121.52}{8.6} + \frac{60}{84} \times 39.5\right) = 470 - (14.13 + 28.21) =$$

C'pp = 470 − 42,34 = 427,66 cm. = 4,28 m.

EJEMPLO Nº 83. Para el buque del ejemplo anterior se desea conocer lo siguiente:

a) Reacción máxima sobre el codaste al apoyar la quilla en los picaderos si se sabe que la pendiente de los picaderos es de 0,5 cm. por metro.

b) La altura metacéntrica al apoyar toda la quilla, si se obtiene el $\overline{KM'}$ = 4,35 m.

c) Cuántas toneladas de agua salada se deben lastrar en el tanque No. 1 el cual se encuentra a una distancia de la cuaderna maestra de 30,50 m. a proa, para anular la presión del codaste?

Solución:

a) Reacción máxima R

$$R = \frac{(A - i \,.\, E) \,.\, Mu}{d_F}$$

i = pendiente del dique

$$R = \frac{(60 - 0{,}5 \times 84) \,.\, 80}{39{,}5} = \frac{18 \times 80}{39{,}5} = \frac{1440}{39{,}5} = 36{,}456 \text{ Tm.}$$

b) La altura metacéntrica al apoyar toda la quilla ($\overline{G'M'}$)

$$\overline{G'M'} = \overline{KM'} - \frac{D \,.\, \overline{KG}}{D - R} = 4{,}35 - \frac{4.100 \times 3{,}82}{4.100 - 36{,}456}$$

$$\overline{G'M'} = 4{,}35 - \frac{15.662}{4.063{,}54} = 4{,}35 - 3{,}85 = 0{,}50 \text{ m.}$$

c) Lastre en tanque No. 1

$Mu \times a = p \times d_F$

$$p = \frac{Mu \times a}{d_F}$$

p = peso del lastre ; d_F = distancia longitudinal del tanque al F

a = alteración que se debe producir para que la quilla quede paralela a los picaderos

$d_F = d_{\blacksquare} + \overline{\blacksquare F} = 30.50 + 2{,}50 = 33{,}0 \text{ m.}$

$a = A - i \times E = 60 - 0{,}5 \times 84 = 18 \text{ cm.}$

$$p = \frac{80 \times 18}{33{,}0} = \frac{1440}{33{,}0} = 43{,}636 \text{ Tm. de agua de lastre.}$$

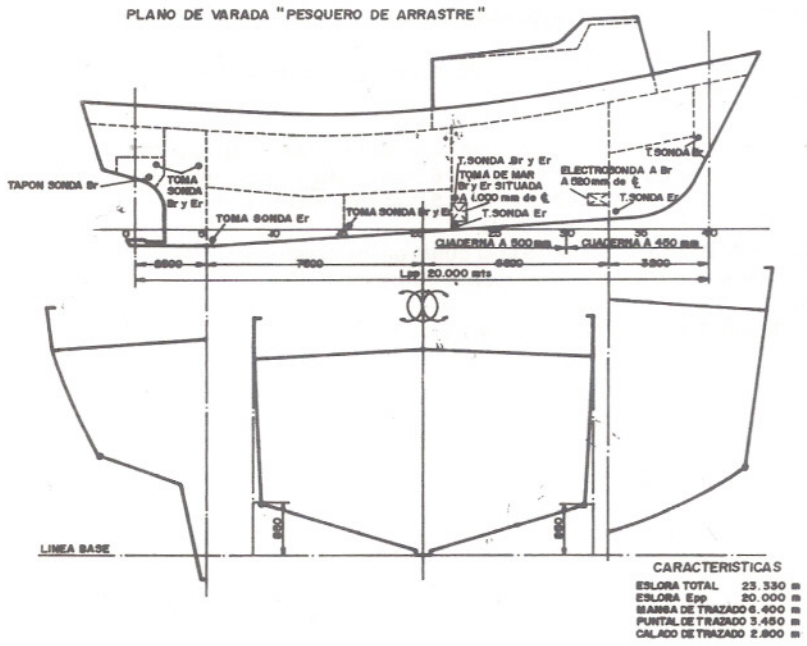


Fig. XVII - 7

EJERCICIOS

1. El buque atunero «Aratz» vara en un punto que coincide con el centro de flotación F. En el instante de la varada los calados eran de Cpr = 4,60 m.; Cpp = 5,40 m., luego de una hora de haber varado la marea baja 0,25 m.. Se pide:

a) Los calados del buque a 1 hora de haber varado

b) La reacción de la fuerza de apoyo en el fondo a 1 hora de la varada.

R.: a) Cpr. = 4,35 m., Cpp. = 5,15 m.

b) R = 136 Tm.

2. Un buque varó en un punto A cuyas coordenadas son: $\overline{Kg}$ = 0 m., $\overline{\text{¢g}}$ = 3 m. a Er. y 15 m. a popa de la cuaderna maestra. El buque se encontraba en las condiciones siguientes antes de varar: Cpr = 3,80 m., Cpp = 4,60 m., $\overline{\text{Œ}F}$ = 2m. hacia popa; D = 4000 Tm., $\overline{KG}$ = 4,60 m., Mu = 36 Tm.m..

Calcular:

a) Reacción R en el punto de varada si el buque tuvo una alteración de 50 cm. de aproamiento

b) Altura metacéntrica después de la varada si el $\overline{KM'}$ = 5,50 m.

c) La escora que tiene el buque varado

d) Cantidad de carga a descargar de la bodega No. 5 para que el buque quede libre de la varada, si su centro de gravedad se encuentra a 20 m. a popa de la cuaderna maestra.

R.: a) R = 138,46 Tm.; b) $\overline{G'M'}$ = 0,735 m.; c) θ = 8°19.6' a Br.; d) Descargar = P = 100,00 Tm.

3. Un buque al entrar a dique seco cuya pendiente es de 0,001 por metro, se halla en la siguiente condición: Cpr = 5,80 m., Cpp = 6,50 m.; Mu = 100 Tm.m./cm., $\overline{\text{Œ}F}$ = 1,30 m. hacia popa, E = 120 m.; Tc = 18 Tm.; D = 5.300 Tm., $\overline{KG}$ = 6,20 m.. Calcular:

a) Resistencia máxima en el codaste

b) Calado de popa al recostar toda la quilla en los picaderos

c) Altura metacéntrica al apoyar toda la quilla sobre los picaderos, si su $\overline{KM'}$ = 7.00 m.

R.: a) R = 98,807 Tm.; b) C'pp = 6,16 m.; c) $\overline{G'M'}$ = 0,682 m.

CAPITULO XVIII

TEORIA DE LAS OLAS

18.1. GENERACION DE LAS OLAS

Al generarse el viento en zonas donde la superficie del mar está en equilibrio, se comienzan a producir pequeñas ondulaciones o rizos, llamadas olas de viento. Estas olas van a crecer hasta cierta altura propagándose en la misma dirección del viento, hasta llegar a la zona de calma, en donde ya no hay viento teniendo un decrecimiento en su altura y aumentando su longitud y período.

La tendencia de la ola, a medida que se aleja del área de generación, es de reducir su superficie ondulada a un plano, por acción de la gravedad.

El estado del mar se encuentra definido por algunos factores que lo determinan como son los siguientes:

a) Fuerza o velocidad del viento y su dirección

b) Duración del viento durante el cual ha soplado

c) Superficie libre o distancia de la superficie del mar en la cual el viento ha soplado. (Se emplea también la palabra alemana Fetch).

d) Profundidad del mar.

18.2. CARACTERISTICAS DE LAS OLAS

La nomenclatura y elementos que caracterizan a las olas las podemos definir de la siguiente manera: La Fig. XVIII-1 muestra el perfil de una ola.

La superficie no perturbada 0X, se llama *nivel de aguas tranquilas*.

Cresta es la parte más elevada de una ola, puntos C.

Seno es la depresión o parte más baja de la ola, puntos S.

Amplitud (A) es la distancia vertical entre la cresta o el seno de una ola y el nivel de aguas tranquilas.

Altura (h) es al distancia vertical entre una cresta y un seno.

Longitud (Lo) es la distancia entre dos crestas o senos consecutivos.

Pendiente (α) es la relación entre la altura de la ola (h) y su longitud (Lo).

Período (To) es el tiempo que demoran en pasar por un mismo punto dos crestas o dos senos consecutivos.

Velocidad (Vo) es la relación entre la longitud y el período de la ola $Vo = \frac{Lo}{To}$

Dirección (ψ) es el rumbo con el cual se propaga la ola.

Profundidad (d) es la distancia vertical que existe entre el nivel de aguas tranquilas y el fondo del mar.

Aguas profundas, es cuando la relación d/L > 0,5, es decir si L = 20 m. y d = 12 estamos en aguas profundas para esa ola en particular.

Aguas poco profundas es cuando la relación d/L < 0,5.

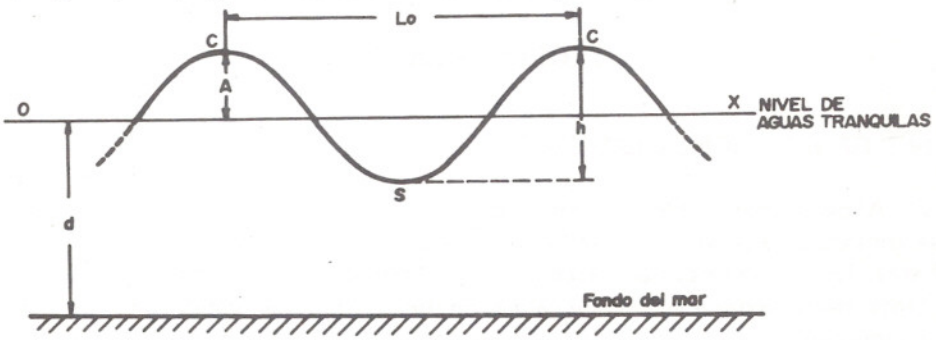


Fig. XVIII - 1

18.3. RELACIONES ENTRE LAS CARACTERISTICAS DE LAS OLAS

En aguas profundas la hidrodinámica demuestra que existen relaciones entre la longitud de la ola y el período:

$$Lo = \frac{g \cdot To^2}{2\pi}$$

g = gravedad de la tierra 9,81 m/seg.^{2}

π = Pi $\doteq$ 3,1416

Partiendo de la ecuación anterior podemos establecer las siguientes relaciones:

Sistema métrico	Sistema inglés
$Lo = 1{,}56 \cdot To^2$	$Lo = 5{,}12 \cdot To^2$
$To = 0{,}80 \cdot \sqrt{Lo}$	$To = 0{,}44 \cdot \sqrt{Lo}$
$Vo = \frac{Lo}{To} = 1{,}25 \cdot \sqrt{Lo}$	$Vo = \frac{Lo}{To} = 2{,}26 \cdot \sqrt{Lo}$
To en segundos	To en segundos
Lo en metros	Lo en pies
Vo en metros por segundo	Vo en pies por segundo

En cuanto a la altura de la ola (h), si bien no está directamente ligada a las características anteriores, se puede considerar para olas en mar de fondo, la relación h = Lo/20, con un error no mayor del 1%.

La pendiente (α) se calcula por la relación Sen $\alpha = \pi . h/Lo$

EJEMPLO N° 84. Hallar las características de una ola cuyo período es igual a 8 segundos.

Longitud = Lo = $1{,}56 . To^2 = 1{,}56 \times 8^2 = 99{,}84$ m.

Velocidad = Vo = Lo/To = 99,84/8 = 12,48 m/seg.

Altura = h = Lo/20 = 4,99 m.

Pendiente (α) sen $\alpha = \pi . h/Lo = 3{,}14 \times 4{,}99/99{,}84 = 0{,}157$: $\alpha = 9°2'$

18.4. TEORIA TROCOIDAL DE LAS OLAS

Observando el perfil de las olas aparentemente tienen forma sinusoidal, pero las comprobaciones precisas demuestran que las partículas que conforman la superficie de ellas describen una curva semejante a una trocoide, de ahí que se dice que el movimiento ondulatorio de las olas se rige por la teoría trocoidal.

Una trocoide, Fig. XVIII-2, es una curva engendrada por un punto P de una circunferencia de radio r concéntrica a otra de radio R que se desplaza por una recta AB. Al rotar la circunferencia de radio R sobre la recta AB a una velocidad w cons-

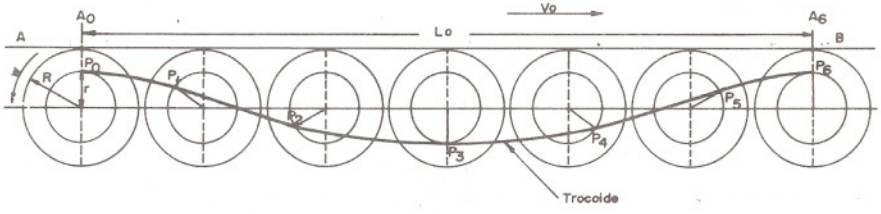


Fig. XVIII - 2

tante en el sentido de la flecha y efectuar una vuelta o sea $2\pi = 360°$, la distancia recorrida entre Ao y A_6 será la longitud de la ola (Lo) a una velocidad Vo en un tiempo To igual al período, entonces se puede establecer lo siguiente:

$Lo = 2\pi . R = Vo . To$

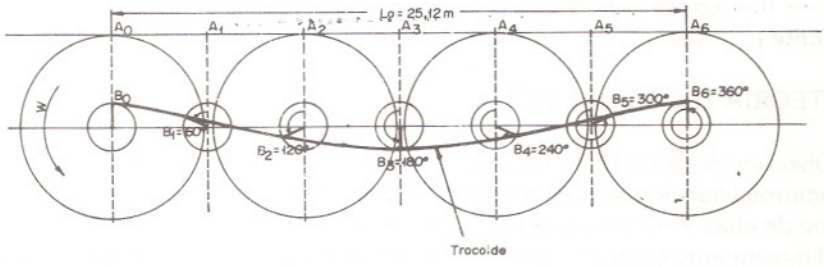
La curva descrita por los puntos Po, P_1, P_2 ... P_6 es la trocoide o perfil de esa ola, el radio r = h/2, la pendiente de la ola estará dada por la relación:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{r}{R} = \frac{h/2}{Lo/2\pi} = \pi . h/Lo$$

Cuando el radio r se hace igual al R la ola sería en su perfil una cicloide o sinusoide, debido a que el punto P pertenecería a la circunferencia de radio R.

EJEMPLO Nº 85. Trazar el perfil de una ola de 25,12 m. de longitud y de 2 metros de altura.

$R = Lo/2\pi = 25{,}12/2 \times 3{,}14 = 4$ m.
$r = h/2 = 2/2 = 1$ m.
A continuación trazaremos a escala, el perfil de la ola 1 m. = 1/2 cm.



Se procede para su trazado:

1°. Se traza una recta AB y sobre ella se marca la longitud Lo = 25,12 m. en escala 12,56 cm.

2°. Se divide la longitud Lo en 6 partes iguales, Puntos Ao, A_1, A_2, ..., A_6 y se trazan circunferencias de radio R = 2 cm. tangentes a dichos puntos.

3°. Concéntricas a las circunferencias de radio R se dibujan las de radio r = 0,5 cm.

4°. Los puntos Po, P_1, P_2, ..., P_6 se ubican en la intersección del lado del ángulo al ir rotando la circunferencia de radio R sobre la recta AB en el sentido w y la circunferencia de radio r, iniciando en Po para $\beta_o = 0°$, en P_1 para $\beta_1 = 60°$, en P_2 para $\beta_2 = 120°$ y así sucesivamente hasta completar los 360°. β es el ángulo de rotación y para este caso del dibujo los sucesivos puntos P difieren en 60° debido a que se dividió 360° entre 6.

5°. Se unen los puntos P obteniéndose la trocoide.

18.5. MAR DE VIENTO

Las olas generadas por el viento producen la mar de viento, la cual ofrecen un aspecto complejo debido a que no existe en las características de sus olas una topografía definida de las ondulaciones.

Muchas veces las olas de un origen lejano vienen a agruparse en este sistema aumentando aún más su complejidad.

Para que una onda sea regular, tendría que soplar el viento con la misma intensidad y dirección, pero sabemos que el viento no tiene una dirección fija sino que oscila unos 20 grados y su intensidad sufre aceleraciones (ráfagas) más o menos

intensas cuyas interferencias explican la complejidad de los movimientos observados. Por lo tanto las olas observadas tienen longitud, período y alturas distintas, interfiriéndose cuando chocan unas con otras por su dirección variable.

Las olas entonces se interfieren entre sí aumentando o no su altura y longitud, haciendo que el traslado de sus crestas no sea paralelo.

A pesar de la irregularidad de las olas en el área de generación, podemos distinguir entre todas las olas allí presentes, una que tiene características sobresalientes llamada *ola significativa*.

Mediante esta ola significativa es que se determina el estado del mar, la apreciación se puede hacer a simple vista (apreciación personal) y se clasifica de acuerdo a su altura, período y longitud.

La ola significativa se define de la siguiente manera, en forma convencional: «La ola significativa es la altura promedio de las tres olas más altas que se observan durante un período de 10 a 15 minutos, excluyendo aquellas olas cuya altura es inferior a un pie (0,30 m.)».

EJEMPLO N° 86. En un lapso de 10 a 15 minutos se han observado las siguientes **alturas de las olas más grandes**.

Altura en pies	Altura en pies
4'	6' (elegida)
4'	7' (elegida)
2'	4'
5' (elegida)	3'
0.5' (se elimina por ser altura menor de un pie)	1'

Hallar la altura, período y longitud de la ola significativa.

Solución: La altura de la ola de 0,5 pies se elimina: quedando 9 alturas de olas de las cuales se eligieron 3 de ellas que son las más altas, entonces la ola significativa será:

$$h_s = \frac{5 + 6 + 7}{3} = 6' = \text{altura de la ola significativa}$$

Esta definición aparentemente arbitraria de la ola significativa, tiene una base empírica que se aproxima mucho a la realidad. En este ejemplo el estado del mar que se caracteriza es de 6 pies de altura.

Para el cálculo del período significativo Ts, de la ola significativa, se define como el tercio de la suma de los períodos de las olas elegidas.

En el ejemplo los períodos medidos fueron los siguientes:

Período en segundos	Período en segundos
5	4 (elegida)
6	3 (elegida)
4	4,5
7 (elegida)	2
0,5	1

$$Ts = \frac{7 + 4 + 3}{3} = 4{,}66 \text{ seg.} = \text{Período de la ola significativa}$$

La longitud de la ola significativa será: $Ls = 5{,}12\ Ts^2 = 111$ pies

18.6. MAR DE FONDO. MAR DE LEVA

La mar de fondo es aquella que se forma en aguas profundas, fuera del área de generación de las olas.

La mar de leva es el sistema de olas que se ha desplazado fuera del área de generación pero en aguas poco profundas. Muchos autores definen indistintamente estos dos tipos de mar.

Podemos decir que las características de estos dos tipos de mar tienen olas muy regulares, se desplazan en zonas de calma en direcciones que muchas veces es contraria al viento reinante. A medida que se desplazan del lugar de generación van perdiendo altura y su longitud y período aumentan. Estas olas son signos de mal tiempo y son los primeros indicios de las tormentas.

18.7. CARACTERISTICAS DE LAS OLAS CERCA DE LA COSTA

Las olas ya sea de leva o viento al aproximarse a la costa donde el mar es cada vez menos profundo, se van transformando llegando a tal punto que pierden su equilibrio y se vuelcan o rompen.

Las olas van aumentando de altura y disminuyen su velocidad dependiendo de la pendiente del fondo, hasta que rompen y su movimiento ondulatorio se transforma en traslación, cuando esto sucede se dice que hay rompientes y se puede apreciar las crestas blancas de las olas a cierta distancia de la costa.

La zona comprendida entre la línea de rompientes y la costa se llama *resaca*.

18.8. MEDIDA DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS OLAS

Veamos a continuación de que manera se miden las principales características de las olas desde a bordo de un buque:

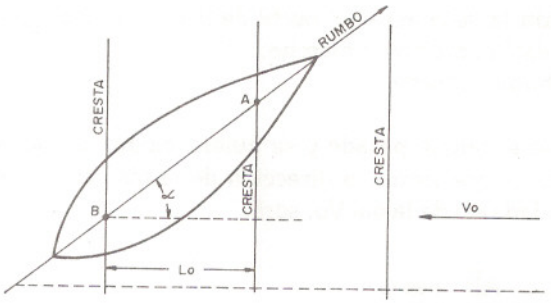
a) La dirección es la característica más fácil de apreciar y se determina con la alidada una demora de la dirección de las crestas y luego agregando o restando 90°.

b) El período se puede medir directamente de la manera siguiente, se anota el tiempo que tardan las crestas de un cierto número de olas en pasar por un objeto

flotante inmóvil con respecto al agua. El tiempo debe hacerse sobre 15 o 20 olas por lo menos. Si el buque se desplaza con mucha velocidad se debe cambiar el punto fijo en el curso de una serie de mediciones. Luego se divide el tiempo total por el número de crestas que hayan desfilado por ese punto.

c) La longitud se puede medir en un buque de eslora grande, colocando dos observadores en los puntos A y B, Fig. XVIII-3, que coinciden con dos crestas sucesivas, si el rumbo del buque con la dirección de la ola forma un ángulo α, la longitud de la ola se halla: $Lo = \overline{AB} \cdot \cos \alpha$

Fig. XVIII - 3



Otra forma de calcular la longitud de la ola, cuando el buque tiene poca eslora es lanzando un flotador por la popa fuera del efecto de la hélice, de una longitud tal que una cresta debe pasar por el observador en A en el buque y la sucesiva cresta por el flotador B.

$Lo = \overline{AB} \cos \alpha$ en donde $\overline{AB}$ es la longitud del cordel, Fig. XVIII-4.

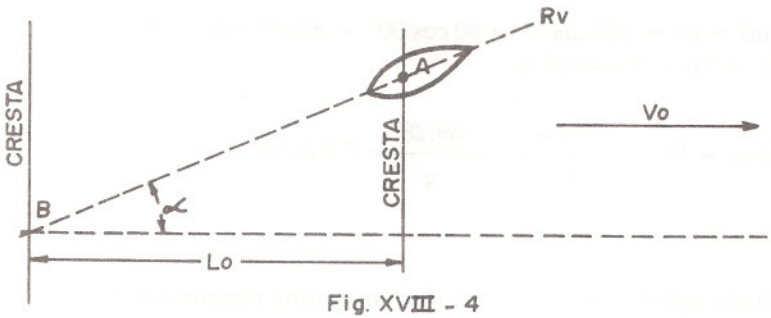


Fig. XVIII - 4

EJEMPLO N° 87. Un buque tiene el mar por la amura de Er. a 040°, dos observadores se colocan en A y B que dista 120 m. pasando por ellos en el mismo instante dos crestas sucesivas.

Hallar la longitud de la ola.

$Lo = \overline{AB} \cos \alpha = 120 \cos 40° = 120 \times 0{,}766 = 91{,}93$ m.

EJEMPLO N° 88. En un buque pequeño se desea medir la longitud de las olas, siendo la dirección de las mismas con el rumbo del buque de un ángulo $\alpha = 160°$ a estribor contado desde la proa; para ello se lanza un flotador con un cordel de 100

metros de largo en un extremo, para que éste quede sobre una cresta y el observador en un punto A en la popa del buque sobre la otra cresta sucesiva. Se pide la longitud de la ola.

$$Lo = \overline{AB} \cdot \cos \alpha = 100 \times \cos (180° - 120°) = 100 \times 0{,}9397 = 93{,}97 \text{ m.}$$

d) Para medir la velocidad del perfil de la ola, se pueden considerar dos casos según el buque esté parado o en marcha:

1er. Caso, buque parado

Encontrándose el buque parado y se quiere medir la velocidad de la ola, conociendo el ángulo α que forma la dirección de la ola con la del plano de crujía del buque; la velocidad real de la ola Vo, será:

$$Vo = \frac{Lo}{To} = \frac{\overline{AB} \cdot \cos \alpha}{To}$$

$\overline{AB}$ = Distancia entre los puntos A y B en que se encuentran dos observadores por los que tarda en pasar una misma cresta de una ola en un tiempo To.

EJEMPLO N° 89. Un buque se encuentra parado y tiene el mar por la amura de Br. a 30°. Dos observadores se encuentran a una distancia $\overline{AB}$ = 80 m. y demora pasar una cresta de una ola 9 segundos. Hallar la longitud, período y velocidad real de la ola.

Longitud = $Lo = \overline{AB} \cos \alpha = 80 \cos 30° = 80 \times 0{,}866 = 69{,}28$ m.

Período = To = 9 segundos

$$\text{Velocidad} = Vo = \frac{\overline{AB} \cos \alpha}{To} = \frac{69{,}28}{9} = 7{,}7 \text{ m/seg.}$$

2do. Caso, buque en marcha

Si el buque tuviera una velocidad Vb y su rumbo formara un ángulo α con el de la ola, la velocidad que se mide a bordo sería la velocidad aparente de la ola Va, obteniéndose la siguiente relación:

$Va = Vo \pm Vb \cos \alpha$ de donde

$Vo = Va \mp Vb \cos \alpha$

En esta última relación se adopta el signo menos (—) cuando el mar está por la amura y el signo más (+) cuando el mar viene por la aleta.

EJEMPLO N° 90. Un buque se encuentra navegando con el mar por la amura de Br. a 50° y Vb = 12 nudos. Si al situar dos observadores separados 90 metros entre A y B, y la cresta de una ola tarda en pasar por ellos 12 segundos.

Hallar la velocidad de la ola.

$$Va = \frac{\overline{AB}}{T} = \frac{90}{12} = 7{,}5 \text{ m/seg.}$$

$$Vo = Va - Vb \cos \alpha = 7{,}5 - \frac{12 \times 1852}{3600} \cos 50^\circ = 3{,}53 \text{ m/seg.}$$

NOTA: Se adoptó el signo menos porque la dirección del mar es por la amura.

e) La medida de la altura de la ola (h) se efectúa por un procedimiento aproximado porque se debe tomar la visual horizontal a la cresta de la ola cuando el buque se encuentra en un seno y adrizado. Fig. XVIII-5.

El observador se ubicará en una cubierta en el punto A, en donde pueda tangentear con su visual la cresta de la ola, la altura de la ola será la distancia vertical desde la flotación F al observador en A.

Existen otros métodos con aparatos, pero en la práctica a bordo se estima a ojo.

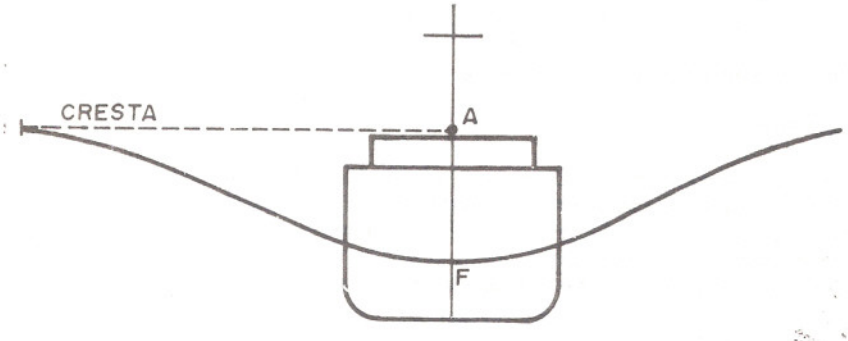


Fig. XVIII - 5

18.9. ESTADO REAL DEL MAR Y PREVISION DE LA OLA

La agitación real del mar tiene efectos muy diferentes sobre los buques de acuerdo a su tamaño, altura de las olas, longitud de las ondas y rumbo seguido con respecto a la dirección de las olas.

Un pesquero sufre sobre todo el mar cuyas longitudes de las olas son cortas y le afecta mucho más cuando son altas.

Un trasatlántico podrá sufrir mucho más con una ola de altura modesta pero larga.

En los códigos referentes a la longitud y altura de las olas se considera lo siguiente:

Longitud en metros	Altura en metros
Ola corta inferior a 100	Ola suave o pequeña inferior a 2
Ola media de 100 a 200	Ola modesta de 2 a 4
Ola larga superior a 200	Ola fuerte o grande superior a 4

La previsión de las olas se realiza con ayuda de cartas meteorológicas y ciertos ábacos que relacionan las características de las mismas en su área de generación.

Mediante las características, la distancia de propagación, la fuerza y dirección del viento a lo largo del fetch se puede lograr cierta previsión de las olas.

EJERCICIOS

1. Hallar las características de una ola de 400 pies de longitud.

R.: To = 8,8 seg.; Vo = 45,2 pies/seg. = 26,76 nudos; h = 20 pies; Pendiente = 9°02'.

2. En un período de tiempo de 10 minutos se han medido 9 alturas de olas de las más grandes, obteniéndose: h_1 = 1,3 m., h_2 = 1,50 m., h_3 = 1,00 m., h_4 = 1,58 m., h_5 = 1,60 m., h_6 = 1,48 m., h_7 = 1,24 m., h_8 = 1,15 m. y h_9 = 1,35 m.

Determinar la altura de la ola significativa.

R.: h_s = 1,56 m.

3. Un buque se halla navegando con rumbo verdadero norte, el mar lo recibe por la aleta de babor a 120 grados de la proa, la velocidad del buque es de 13 nudos, dos observadores separados longitudinalmente 80 metros miden el paso de una cresta, tardando 16 seg. Hallar

a) La velocidad verdadera de la ola

b) La longitud verdadera si el período aparente que se midió fue de 18 segundos.

R.: a) Vo = 8,34 m./seg. ; b) Lo = 90 m.

CAPITULO XIX

OSCILACIONES DEL BUQUE EN AGUAS TRANQUILAS

19.1. MOVIMIENTOS DEL BUQUE

Un buque por su condición que lo identifica (Cap. I), tiene una serie de movimientos que los podemos clasificar en traslaciones y oscilaciones o rotaciones.

Estos movimientos son los siguientes: (Fig. XIX-1)

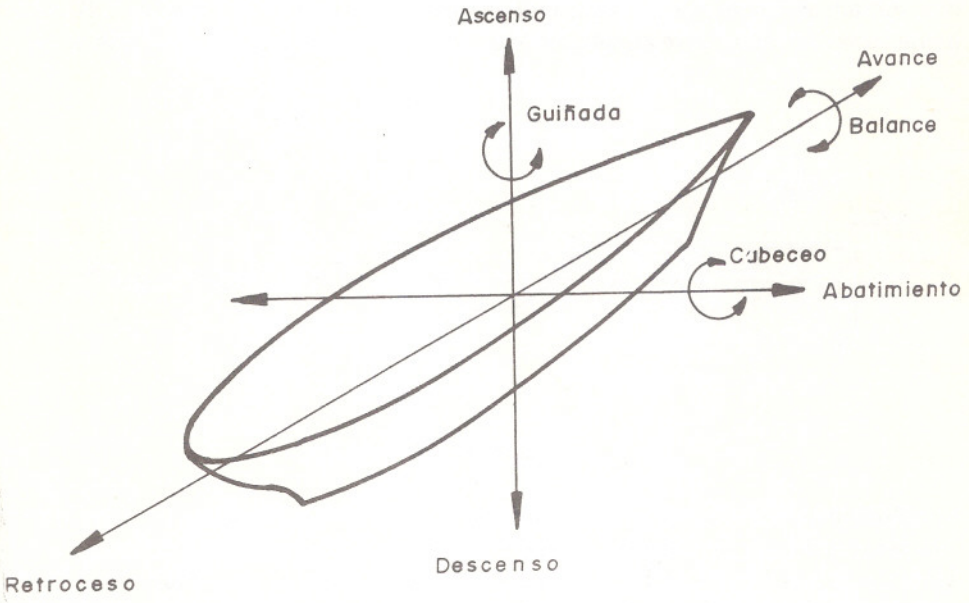


Fig. XIX - 1

Traslaciones:

1. El movimiento de un buque respecto a su eje longitudinal, es el que le da el avance o retroceso. Marcha adelante o atrás.
2. El movimiento de un buque respecto a su eje transversal, es el que le da al

buque la deriva o abatimiento.

3. El movimiento de un buque respecto a su eje vertical es el que le da el ascenso o descenso.

Oscilaciones:

4. El movimiento de rotación sobre su eje longitudinal es el que le da al buque los balances o rolidos.
5. El movimiento de rotación sobre su eje vertical es el que le da al buque las guiñadas.
6. El movimiento de rotación sobre su eje transversal es el que le da al buque las cabezadas o cabeceos.

Si bien todos estos movimientos tienen su importancia, los más importantes a los efectos de la estabilidad son los balances y cabeceos que los estudiaremos a continuación.

19.2. OSCILACIONES DE BALANCE O ROLIDO

Si aplicamos una fuerza F al buque de la Fig. XIX-2, para llevarlo de la posición 0 o de adrizado hasta un ángulo θ', se produce un trabajo que equivale a una energía potencial que al dejar de actuar dicha fuerza aplicada, el buque volverá a su posición inicial 0 o. Esto es debido al trabajo del par adrizante, pero en el momento de estar adrizado, su fuerza viva o inercia tiene un valor $1/2.m.v^2$ (Cap. IX) debido a que su velocidad v no se anuló, por lo cual el buque continuará hacia la otra banda

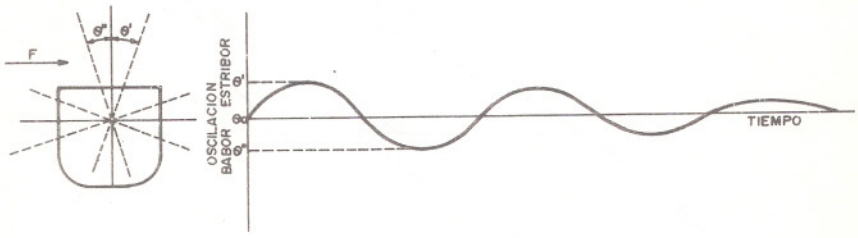


Fig. XIX - 2

hasta un ángulo θ'' en donde la velocidad v = 0 y el trabajo motor se hace igual al trabajo resistente. Si el buque oscilara en un medio no resistente, el ángulo θ' sería igual al θ'', pero debido al rozamiento de los medios aire - agua con la carena y obra muerta-superestructuras, estas oscilaciones se van haciendo cada vez más pequeñas hasta anularse quedando el buque adrizado.

Se llama oscilación simple de balance al movimiento de babor a estribor o viceversa.

Se llama oscilación doble o completa de balance al movimiento de babor-estribor-babor o sea dos oscilaciones simples.

19.3. PERIODO DE BALANCE

El período de balance o rolido transcurre en un tiempo determinado, lo cual se demuestra que es un movimiento armónico y por lo tanto se puede aplicar la fórmula del péndulo compuesto para medir ese tiempo:

$$Td = 2\pi\sqrt{\frac{I}{g \cdot \overline{GMc} \cdot D}}$$

en donde: I(*) = Momento de inercia de todos los pesos que componen el buque respecto a un eje longitudinal o tranquilo que pasa próximo al centro de gravedad del buque.

g = aceleración de la gravedad terrestre 9,81 m/seg.^{2}

$\overline{GMc}$ = altura metacéntrica corregida por superficies libres

D = desplazamiento del buque.

$I = D \cdot k^2$; k = distancia al eje de giro o de oscilación

Sustituyendo en la fórmula del período doble,

$$Td = 2\pi\sqrt{\frac{I}{g \cdot \overline{GMc} \cdot D}} = 2\pi\sqrt{\frac{D \cdot k^2}{g \cdot \overline{GMc} \cdot D}} = \frac{2\pi k}{\sqrt{g \cdot \overline{GMc}}}$$

El valor de k realizado en varias pruebas conociendo el $\overline{GMc}$ del buque han dado que k = 0.38 M (M = manga del buque).

Sustituyendo en la fórmula anterior:

$$Td = \frac{2\pi \times 0.38M}{\sqrt{g \cdot \overline{GMc}}} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.38M}{\sqrt{9.81}\sqrt{\overline{GMc}}} = \frac{0.77M}{\sqrt{\overline{GMc}}}$$

La fórmula del período doble Td se puede expresar en función de la manga M y su altura metacéntrica $\overline{GMc}$

$$Td = 0.77 \cdot \frac{M}{\sqrt{\overline{GMc}}} = \frac{K \cdot M}{\sqrt{\overline{GMc}}}$$

Mediante esta fórmula se puede calcular la altura metacéntrica corregida $\overline{GMc}$, despejando:

$$\overline{GMc} = \left(\frac{0.77.M}{Td}\right)^2 \quad \text{(Ver Cap. 7-4-1)} \quad \overline{GMc} = \left(\frac{K.M}{Td}\right)^2$$

(*) I es el momento de inercia del buque. Como sabemos por la física, es la sumatoria de todos los momentos de inercia elementales de los pesos que componen al buque por la distancia al eje de giro al cuadrado.

El coeficiente 0,77 se utiliza cuando las unidades de M y $\overline{GMc}$ están en metros y Td en segundos.

Si la manga M y la altura metacéntrica $\overline{GMc}$ se expresan en pies y el período doble Td en segundos, se emplea el coeficiente 0,42.

$$Td = 0{,}42 \cdot \frac{M}{\sqrt{\overline{GMc}}} \quad y \quad \overline{GMc} = \left(\frac{0{,}42 \cdot M}{Td}\right)^2 = \left(\frac{K.M}{Td}\right)^2$$

Los coeficientes 0,77 y 0,42 que se utilizan según las unidades correspondientes antes mencionadas, dependen del tipo de buque y de su estado de carga. (*)

En general podemos decir que el coeficiente K para la manga y la altura metacéntrica en metros tiene los siguientes valores:

Buques trasatlánticos	0,80 a 0,85
Buques de carga	0,76 a 0,85
Buques pesqueros a la salida de puerto	0.80
Buques pesqueros en caladero	0,79
Buques pesqueros a la llegada a puerto	0,77

Estas fórmulas son suficientemente exactas dentro de la estabilidad inicial o sea para balances inferiores a 10°.

El período de balance de los buques varía de acuerdo a su tamaño y condición de carga: a mayor tamaño y tonelaje tienen mayor período de balance que los buques pequeños y de poco tonelaje.

O.M.I. recomienda para buques pesqueros en desplazamiento en lastre (con combustible, lastre, agua potable, provisiones y equipos) los siguientes valores de K promedio:

	Sistema métrico	Sistema inglés
a) Camaroneros de doble tangón	0.95	0,555
b) Pesqueros	0,80	0,445
c) Pesqueros con pozos para pescado vivo	0,60	0,335

Estos valores medios del coeficiente K discreparon como máximo en $\pm$ 0,05 en distintas pruebas efectuadas.

En términos generales podemos decir que los períodos de balance son los siguientes, para los tipos de buques:

(*) Se puede decir que cuanto mayor sea la distancia k al eje longitudinal tranquilo, sobre el cual rota el buque, más grande será el coeficiente K. Este coeficiente K será mayor cuando el buque se encuentre en lastre que cargado, debido a que en el buque en lastre los pesos están distribuidos en su mayor parte en los doble fondos los cuales se hallan distantes del eje de giro. También el peso en sí del buque que lo constituye el casco ejerce una gran influencia en la condición de lastre.

Tipos de buques	Período doble en segundos
Trasatlánticos	18 a 28
Petroleros cargados	14 a 20
Petroleros vacíos	10 a 13
Cargueros grandes	14 a 20
Cargueros pequeños	7 a 13
Pesqueros	7 a 14
Costeros pequeños (300 a 1000 Tm).	6 a 11

Los buques de poco período de balance son muy incómodos para navegar y ofrecen gran peligro para la estiba de la carga y trabajos a bordo. Los buques de período doble menores de 5 segundos causan mareos y malestar en sus tripulantes.

En la información de estabilidad de los buques, se presentan diagramas para las condiciones de lastre, plena carga y plena carga con cubertada.

En la página siguiente presentamos un monograma para la resolución gráfica de la fórmula del período doble. Estos gráficos deben ser entregados por los astilleros una vez terminado el buque.

Se puede hallar la altura metacéntrica corregida si se posee como dato el período doble de balance.

Mediante la recta (1), se une la manga en pies con el coeficiente de balance, la cual intercepta la vertical m en el punto M. Conociendo el período doble de balance del buque se puede obtener la altura metacéntrica $\overline{GM}c$, (siendo en el ejemplo de 12 seg.), uniendo con la recta (2) el valor de Td pasando por el punto M e interceptando en la escala del $\overline{GM}c$ en pies, el valor que indica la escala. Si el valor que se suministra como dato es el $\overline{GM}c$ se traza la recta (2) partiendo del valor del $\overline{GM}c$ pasando por M y se obtiene en la escala del período de balance el valor de éste.

19.4. OSCILACIONES DE CABEZADAS O CABECEO

Este movimiento oscilatorio de cabeceo del buque alrededor del eje transversal es similar al de balance estudiado, pero es mucho menor el ángulo de cabeceo longitudinal θ_L y generalmente no sobrepasa los 3 a 4 grados.

La fórmula del período doble de cabeceo Td' es la siguiente:

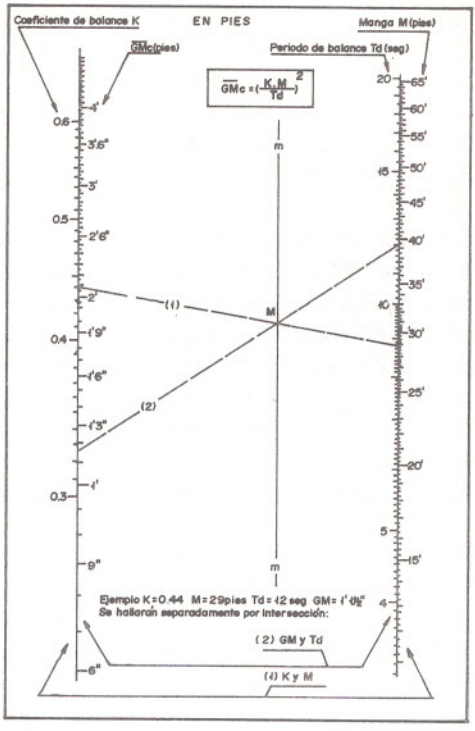
$$Td' = \frac{0{,}65 \cdot E}{\sqrt{\overline{GM}_L}}$$

$\overline{GM}_L$ = altura metacéntrica longitudinal en metros

E = eslora en metros

Td' = período doble de cabeceo en segundos (proa-popa-proa o viceversa).

Como se puede apreciar en la fórmula, este período es función de la altura metacéntrica longitudinal $\overline{GM}_L$ y de la eslora del buque E. Dado que la altura metacéntrica longitudinal tiene un valor muy grande ($0{,}5.E < \overline{GM}_L < 0{,}67.E$), el período doble longitudinal de cabeceo es menor que el período doble transversal y



se puede decir que tienen la relación siguiente: 0,5.Td < Td' < 0,67.Td.

En los buques se prefiere que el Td' sea lo más pequeño posible para que remonte la ola fácilmente y no entre en sincronismo longitudinal. Para ello el momento de inercia longitudinal debe ser pequeño, lo cual se consigue estibando la carga en lo posible en bodegas centrales sin recargar las extremas, además ésto facilita la maniobra de evolución del buque.

Debido a que el momento de estabilidad longitudinal es muy grande, las oscilaciones de cabeceo se amortiguan rápidamente y por la misma razón el período de cabeceo es pequeño.

19.5. DISPOSITIVOS USADOS PARA EL AMORTIGUAMIENTO DE LOS BALANCES

Los buques poseen su mayor reserva de estabilidad cuando permanecen adrizados, por lo tanto lo ideal sería que los buques navegaran sin movimientos, pero esto es imposible.

El movimiento que afecta más la estabilidad es el de balance, pero como no se puede eliminar o anular, se ha tratado de disminuirlo por medio de ciertos dispositivos, para hacer una navegación más cómoda y segura.

Se han inventado e instalado en los buques muchos tipos de dispositivos de amortiguamiento de balances, entre los más usados están los siguientes: amortiguadores giroscópicos, aletas estabilizadoras, quillas de balance y tanques antibalance.

En este Capítulo describiremos los dos últimos dispositivos por ser los de mayor uso en la actualidad.

19.5.1. Quillas de balance o rolido

Estas quillas de balance o rolido son colocadas en los pantoques de los buques en una longitud de 1/3 a 2/3 de la eslora.

Estas quillas son planchas soldadas a lo largo del pantoque de un ancho que no sobresale las prolongaciones de los planos del costado y fondo del buque, Fig. XIX-3. El efecto es muy bueno por el solo hecho del mayor rozamiento con el agua en su movimiento de balance y ser la distancia al eje de giro grande.

Además estas quillas de balance son de bajo costo de construcción y mantenimiento y poseen poco peso; se puede decir que todos los buques las tienen instaladas.

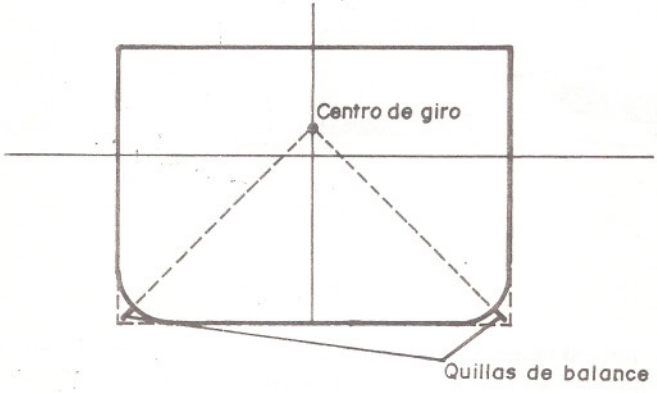


Fig. XIX - 3

19.5.2. Tanques antibalances

a) Principios del amortiguamiento

Los tanques antibalances están instalados en los buques en forma transversal. Fig. XIX-4, conectados por medio de tubos o ductos que les permiten pasar el líquido contenido (combustible o agua) en sentido transversal.

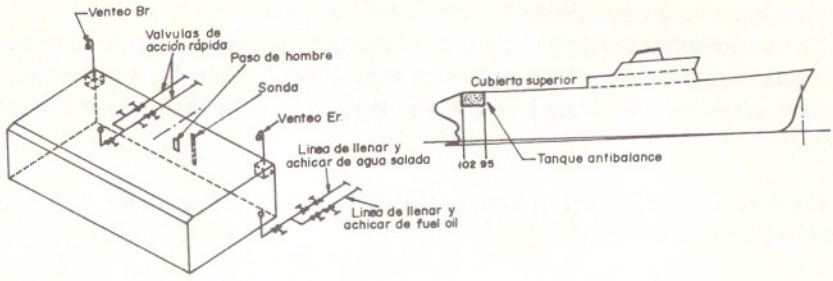


Fig. XIX - 4

El sistema de amortiguación que a continuación se describe (Flume stabilization system) es el instalado en el atunero M/V ANDRADE de 225 pies de eslora.

Estos tanques son diseñados para un determinado desplazamiento del buque y sus posibles estados de carga y períodos de balance.

Para la explicación del principio de amortiguación veamos la explicación en la Fig. XIX-5 en donde se muestra el corte transversal del buque y los tanques con líquido en cuatro etapas al balancearse cuando pasa una ola.

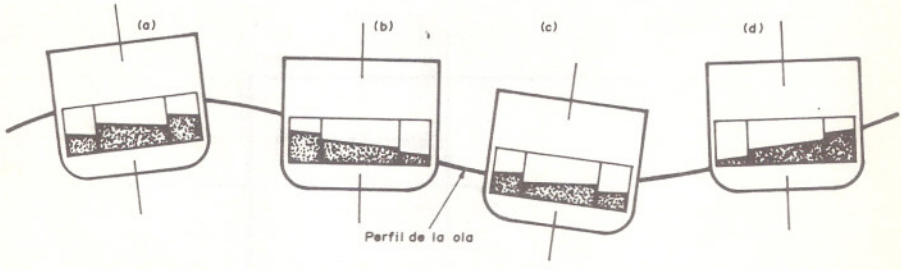


Fig. XIX - 5

Los tanques al no encontrarse llenos tienen superficies libres y éstas al balancearse el buque van a tender a permanecer horizontales.

En la etapa (a) el buque está escorado a babor y el líquido del tanque de estribor empieza a pasar para babor a través de los ductos que los comunican.

En la etapa (b) el buque está adrizado y comienza a escorarse a estribor, entonces el líquido que ha pasado al tanque más de babor, ejerce un momento opuesto al balance actuando de freno.

En la etapa (c) el buque está escorado a estribor pero el líquido recién comienza a pasar a los tanques de estribor.

En la etapa (d) el buque está adrizado y comienza a escorarse a babor, pero el líquido ha pasado a los tanques de estribor produciendo un momento contrario al

del balance, haciendo que disminuya el ángulo de escora o amplitud del balance.

Una oscilación completa (Br.-Er.-Br.) consiste en un ciclo completo de 360 grados.

El mejor efecto para la amortiguación es el desfasaje de 1/4 de ciclo o 90° de retardo del pasaje del líquido de un costado al otro con respecto a una oscilación del buque; dicho de otra manera la frecuencia de balances del buque es igual a la frecuencia de transvase del líquido pero este último desfasado 90° en retardo.

b) Historia

Estos sistemas de amortiguación no son nuevos, sino desde fines del siglo anterior se han venido usando pero fueron cayendo en desuso por la falta de comprensión de los principios básicos, y muchas veces en determinadas condiciones de carga o mar el tanque se transformaba en un desestabilizador incrementando los balances.

Recién en la década de los años 60 se comenzó a desarrollar este sistema en gran proporción en buques de pasajeros, ferries, pesqueros y buques de carga.

c) Manera de operar el tanque

Para la mejor eficiencia de este tanque se debe comprender el principio de operación

Cuando el buque rola, el tanque está diseñado para retardar el transvase del líquido de su interior, este desfasaje o retardo es lo que permite el amortiguamiento del balance.

El tanque no funciona con medios mecánicos sino que una cantidad de líquido a un nivel que se calcula con anterioridad, hace que la frecuencia de transvase del tanque por sus ductos retarde 90° con respecto a la frecuencia del período del buque.

El correcto funcionamiento del tanque depende de que sea mantenido el adecuado nivel del líquido usado.

Estos tanques disminuyen los balances pero no los anulan, se puede comprobar al navegar con ellos vacíos y luego llenarlos hasta cierto nivel que veremos a continuación cómo se determina.

d) Determinación del nivel del líquido del tanque

De acuerdo a la condición de carga del buque se debe llenar de líquido hasta cierto nivel del tanque antibalance.

Para la determinación del nivel del líquido se procede utilizando el gráfico de la Fig. XIX-6.

Mediante este gráfico se determina la altura del nivel del líquido habiendo calculado la altura metacéntrica corregida por superficies libres; debido a que el gráfico está basado en el período doble del buque. Este nivel del tanque se debe usar como dato aproximado y luego de zarpar se corregirá de acuerdo al período real del buque.

NOTA: El $\overline{GM}$ indicado en el gráfico no está corregido por superficie libre del tanque antibalance. Cuando el período doble de balance coincide con la línea divisoria se debe usar el nivel superior. Siempre que sea posible use agua salada como líquido en la operación del tanque.

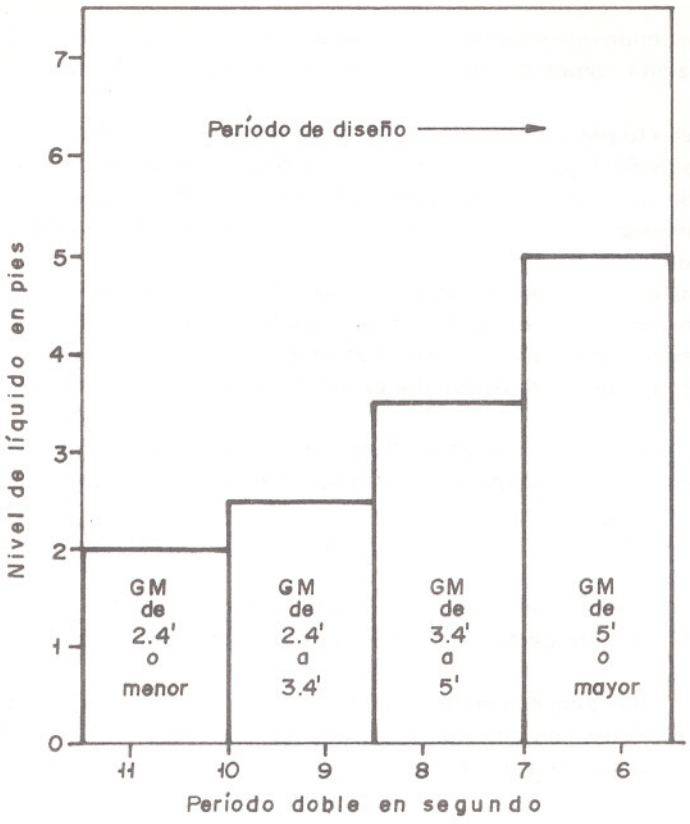


Fig. XIX-6 GRAFICO DEL NIVEL DEL LIQUIDO DEL TANQUE ANTIBALANCE DEL ATUNERO M/V ANDRADE DE 225 PIES DE ESLORA

e) Determinación de la corrección por superficie

Siempre que hayan superficies libres en cualquier tanque, el buque va a tener una pérdida de su estabilidad o disminución de su $\overline{GM}$.

La pérdida de estabilidad causada por el tanque antibalance la podemos determinar mediante el gráfico de la Fig. XIX-7. Este gráfico cuyas coordenadas son: en las ordenadas el desplazamiento en toneladas inglesas o toneladas largas y en las abscisas los valores de las correcciones por superficie libre en pies; las curvas representan, una de ellas si el tanque contiene agua salada y la otra si se usa combustible (fuel oil).

Si el $\overline{GM}c$ del buque es mayor de 2,5 pies se puede prescindir la corrección por superficie libre del tanque ($\overline{GM}c$ = altura metacéntrica corregida por líquidos excepto del tanque antibalance).

Si el $\overline{GM}c$ es menor que 2,5 pies se calcula el $\overline{GM}$ con la corrección por superficie libre del tanque antibalance y si la altura metacéntrica corregida fuera inferior a la exigida por el criterio de estabilidad o negativa se debe vaciar el tanque antibalance.

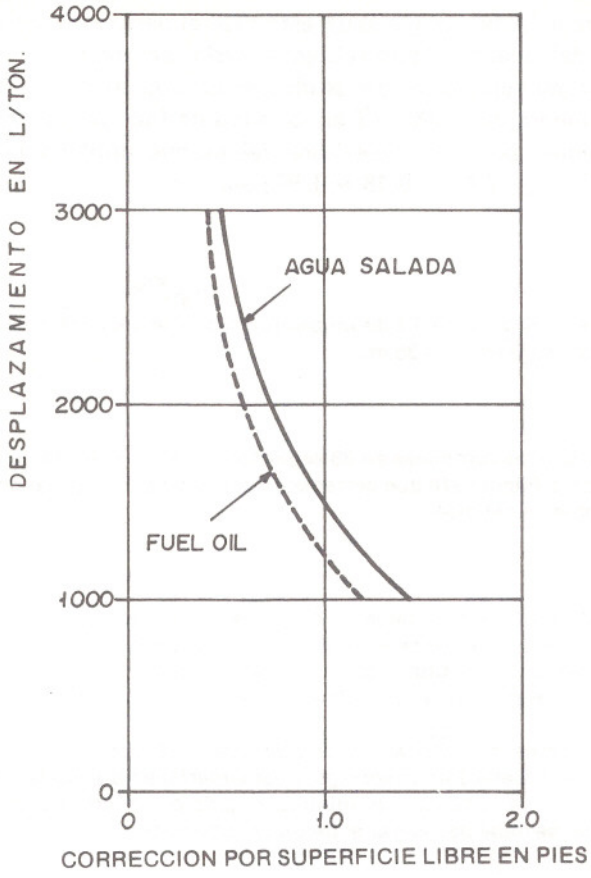


Fig. XIX-7

f) Precauciones en el uso del tanque antibalance

i. En caso de avería del buque el tanque antibalance se debe achicar.

ii. Para darle mayor eficiencia al tanque antibalance se debe mantener el nivel del mismo para cada condición de carga, considerando las variaciones de la estabilidad durante el viaje ya sea por consumos o lastres.

iii. El número de tanques con superficies libres debe ser el mínimo posible.

EJEMPLO N° 91. El buque atunero M/V ANDRADE se halla en la siguiente condición: D = 2.400 L/T. $\overline{GM}c$ = 2,45 pies (no incluyendo corrección por el tanque antibalance) y en donde el líquido usado era fuel oil.

Calcular: a) El nivel del fuel oil en el tanque antibalance. b) La altura metacéntrica corregida por superficie libre del tanque antibalance.

Solución: a) Entrando en el gráfico Fig. XIX-6 con el $\overline{GM}c$ = 2,45', se obtiene el nivel del líquido de 2,5 pies. Esta altura debe ser chequeada al salir a navegar, de

acuerdo al período real del buque y si para este caso el período fuera entre 8,5 y 10 segundos, la altura del nivel del líquido obtenida sería la correcta.

b) La corrección por superficie libre se obtiene en el gráfico Fig. XIX-7, entrando con el desplazamiento de 2.400 L/T en la curva de fuel oil, tenemos: Corr. = 0,48'. El $\overline{GM}$ corregido por superficie libre del tanque antibalance será: $\overline{GM}$c-tanque = $\overline{GM}$c − Corr. = 2,45 − 0,48 = 1.97 pies.

EJERCICIOS

1. Hallar el período doble de balance Td de un pesquero que se encuentra en puerto, siendo su manga de 10 metros y su $\overline{GM}$c = 0,38 m.

R.: Td = 12,8 seg.

2. Un buque dio 4 oscilaciones completas en 38 segundos, su K = 0,44; M = 29 pies. Hallar su $\overline{GM}$c en el gráfico de la Página 278 que pertenece a dicho buque y aplicando la fórmula en función del período doble de balance.

R.: $\overline{GM}$c = 1'9.6''.

3. El buque atunero M/V ANDRADE tiene un desplazamiento de 2.300 Tons. y un $\overline{GM}$c = 1,5' no incluyendo el tanque antibalance en su corrección. Se pide:
a) El nivel del líquido del tanque antibalance, habiéndose usado agua salada
b) Altura metacéntrica corregida por superficie libre del tanque antibalance.

R.: a) Altura nivel = 2,5 pies; b) $\overline{GM}$c-tanque = 0,87 pies = 26,5 cm.

Debido a que la altura metacéntrica corregida por superficie libre del tanque antibalance es menor que 35 cm. y siendo este valor el mínimo exigido por el criterio de estabilidad de O.M.I. para este buque, se debe deslastrar el tanque antibalance.

CAPITULO XX

OSCILACIONES DEL BUQUE ENTRE LAS OLAS

20.1. GENERALIDADES

Hasta el momento hemos estudiado el movimiento de las olas y el del buque en aguas tranquilas; ahora veremos el movimiento del buque entre las olas. Las diferencias que existen en el estudio del movimiento del buque en aguas tranquilas y entre las olas, es que la fuerza de empuje y del peso del buque (desplazamiento D) son siempre iguales en el primero, mientras que en el segundo, al moverse el buque entre las olas debido al movimiento u ondulación trocoidal del perfil de las mismas hace que las fuerzas anteriormente dichas vayan variando de una posición máxima con el buque en el seno de la ola a una mínima en la cresta de la misma.

20.2. EQUILIBRIO DEL BUQUE ENTRE LAS OLAS

Para su estudio supondremos al buque como una masa muy pequeña, que se pueda comparar con una partícula de la ola, Fig. XX-1

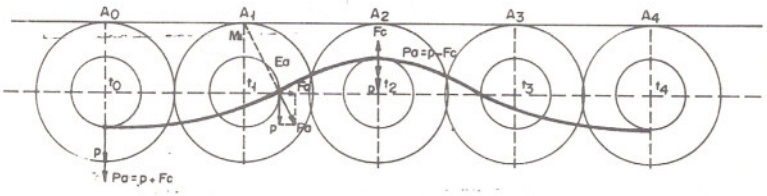


Fig. XX - 1

Sea la partícula de peso p en la posición t_0, en ese instante la partícula se encuentra en el seno de la ola, la fuerza centrífuga Fc tiene el mismo sentido que el peso p, por lo tanto se suman, resultando el peso aparente Pa.

En la posición t_1 de la partícula p el peso aparente Pa es la resultante del para-

lelógramo formado por la fuerza centrífuga Fc y el peso p; el empuje aparente Ea sería igual al Pa pero de sentido contrario, cuya prolongación pasará por el metacentro instantáneo M_1.

En la posición t_2 de la partícula p, que se encuentra en la cresta de la ola, la fuerza centrífuga Fc y el peso p se contrarrestan, por lo tanto el peso aparente Pa = p − Fc.

En el caso de la partícula p considerada como un buque, se puede saber la variación de su peso Pa o desplazamiento aparente y la dirección en que actúa en cada instante; se comprueba matemáticamente que el peso aparente en la cresta es un 30% menor que el real y en el seno es 30% mayor.

Un buque real tiene una determinada forma, tamaño y volumen muy variado que hacen difícil calcular la dirección e intensidad del peso aparente. Si el plano diametral del buque coincidiera siempre con la vertical al perfil de la ola, el buque no tendría movimiento aparente de balance, pero en realidad esto no es factible y la dirección del peso aparente Pa, perpendicular al perfil de la ola no coincide con el plano diametral del buque produciéndose el balance aparente.

Si el buque permaneciera siempre vertical o sea que su plano diametral coincidiera con la vertical verdadera el buque no tendría movimiento absoluto de balance, esto tampoco es factible en un buque real produciéndose el balance absoluto.

20.3. BALANCE ABSOLUTO Y APARENTE

Sea en la Fig. XX-2 un perfil de una ola trocoidal AB; Va es la vertical aparente de la ola en el punto 0; Vv es la vertical verdadera; ℄ es el plano diametral del buque; θ_a es el ángulo de balance aparente o relativo; θ es el ángulo de balance

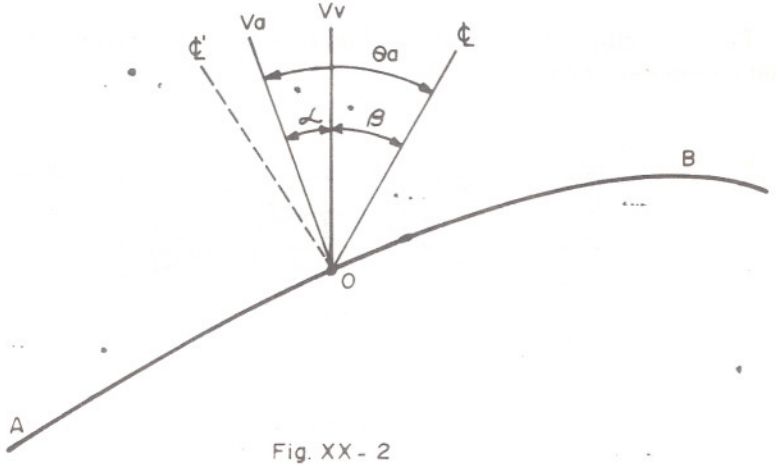


Fig. XX - 2

absoluto o verdadero y α es el ángulo entre la vertical verdadera y la vertical aparente o pendiente de la ola.

Podemos establecer la siguiente relación: $\theta a = \alpha + \beta$

Si el plano diametral se encontrara en ℄ ' la fórmula anterior quedaría θ a = $\beta - \alpha$, entonces en general se puede escribir: θ a = $\beta \pm \alpha$

En el caso que el plano diametral del buque ℄ coincidiera con la vertical verdadera el balance aparente sería igual a la pendiente de la ola α .

Si el plano diametral del buque ℄ coincidiera con la vertical aparente Va el balance aparente θ a sería nulo y el absoluto sería igual a la pendiente de la ola α .

20.4. ESTABILIDAD DEL BUQUE ENTRE LAS OLAS

Consideremos un buque, Fig. XX-3, que tenga una determinada manga y que sea más pequeña que la longitud de la ola.

Sea el perfil de la ola AB y el buque en un corte transversal cuya línea de flotación considerada sea LF (línea punteada).

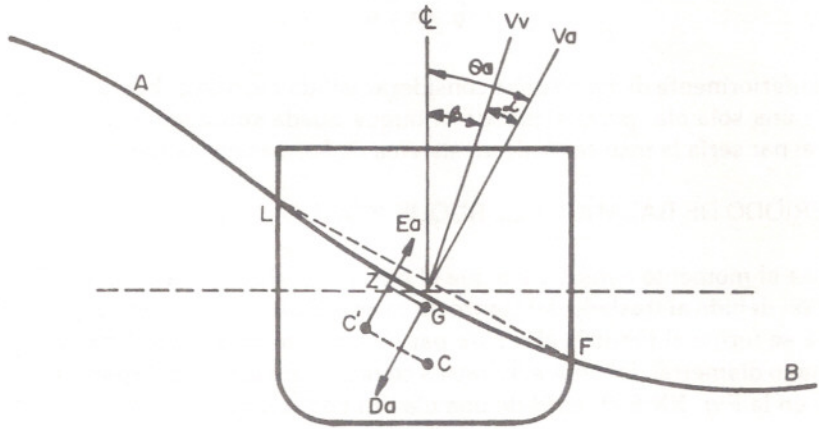


Fig. XX - 3

El desplazamiento D en aguas tranquilas, se consideraría el desplazamiento aparente Da entre las olas. Al pasar una ola en el instante de la figura, cambia el volumen de carena y por lo tanto el centro de carena C se traslada a C' en donde actuará el empuje aparente Ea perpendicular a la superficie de la ola que se puede considerar LF. El Da actúa en el G del buque también perpendicular a la superficie de la ola LF; el brazo del par escorante será $\overline{GZ}$, entonces el momento escorante que llevará a coincidir el diametral ℄ con la Va será:

Mto = Da x $\overline{GZ}$ = Da . $\overline{GM}$. sen θ a

Como vimos anteriormente el Da variaba de acuerdo a la intensidad de la fuerza centrífuga Fc de un mínimo en la cresta de la ola a un máximo en el seno de la ola. De ello deducimos que el momento Mto. a un mismo θ a y $\overline{GM}$ que se encuentre el buque entre las olas depende directamente del desplazamiento aparente Da, por ello podemos decir que el momento del par será mayor cuando el buque se encuentre en el seno de la ola y menor en la cresta, por lo cual su estabilidad se

encontrará disminuida en la cresta de una ola, con respecto al seno de la misma.

La estabilidad dinámica puede disminuir en ciertos buques a más del 50% en la cresta de una ola comparada a la misma en aguas tranquilas. Fig. XX-4.

Fig. XX - 4

Lo anteriormente dicho se debe considerar válido cuando el buque queda en la cresta de una sola ola, porque cuando el buque queda sobre varias crestas el momento del par sería la resultante de un sistema de fuerzas que actúan en la carena.

20.5. PERIODO DE BALANCE DEL BUQUE Y DE LA OLA

Hasta el momento hemos visto que al pasar una ola se crea un par o momento de rotación debido al traslado del centro de carena C hacia un costado por la cuña de agua que se forma al pasar la ola. Este par o momento creado va a tratar de hacer que el plano diametral del buque ℄ vaya a coincidir con la vertical aparente Va.

Sea en la Fig. XX-5 el perfil de una ola, un buque en la posición (a) en el seno

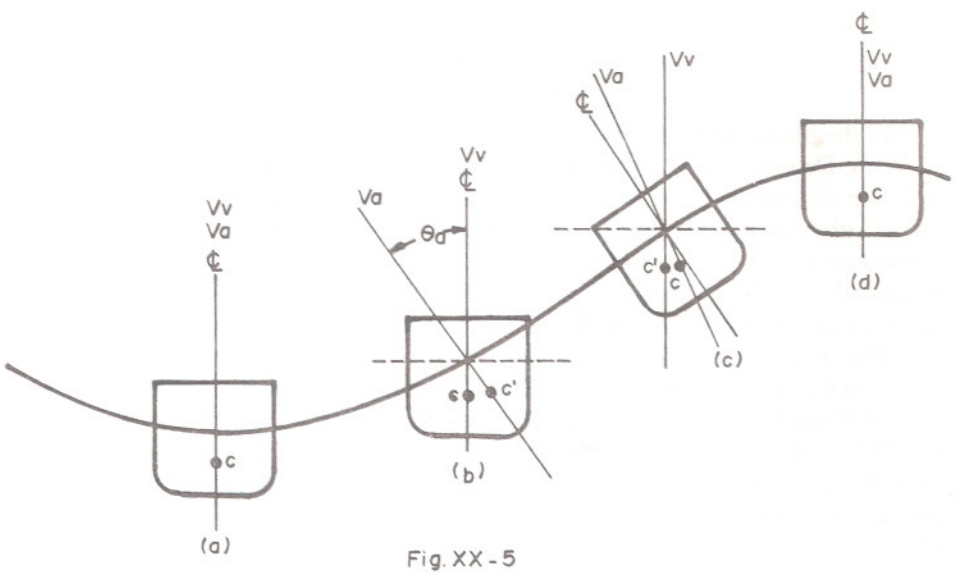


Fig. XX - 5

de la ola en donde al encontrarse adrizado coincide la Vv, Va y ℄.

En la posición (b) el perfil de la ola cambió y la vertical Va también un ángulo θ a, entonces el par tratará de llevar al diametral del buque ℄ a coincidir con la vertical aparente Va.

En la posición (c) el diametral del buque ℄ llegó a un ángulo θ a, pero como cambió el perfil de la ola él tenderá a llevarlo a Er, que en el caso (b) lo llevó a Br.

Al llegar a la posición (d) nuevamente coinciden Vv, Va, y ℄. Si se continúa con otras posiciones a través del perfil de la ola, se observa que la Va va a oscilar alrededor de Vv y a su vez el diametral del buque ℄ va a seguir a la Va.

Recordemos que el período doble de balance Td era:

$$Td = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D \cdot \overline{GM}}}$$

Si el período de balance del buque es pequeño quiere decir que el $\overline{GM}$ es grande y el I pequeño; en este caso el buque va a seguir muy próximo a la Va de la ola. En el caso que el período de balance del buque sea grande el I será grande y el $\overline{GM}$ pequeño, entonces el diametral del buque ℄ no se desviará mucho de Vv, dando pequeñas oscilaciones alrededor de ésta.

Entonces podemos establecer lo siguiente con respecto a la relación entre el período doble del buque Td y el período aparente de la ola Ta.

Td < Ta.

El buque tiene mucha estabilidad y el diametral del buque ℄ oscila próximo a la vertical de la ola Va. Se mantiene adrizado en el seno y en la cresta de la ola y su máximo ángulo de escora es en la mitad de la altura de la ola.

Td > Ta.

El buque tiene poca estabilidad y el diametral del buque ℄ oscila próximo a la vertical verdadera Vv los balances absolutos son pequeños, el buque es lento en sus movimientos y muy cómodo para navegar no ofreciendo peligro para la estiba de la carga.

Td = Ta.

Buque en sincronismo transversal el cual lo describiremos a continuación.

20.6. SINCRONISMO TRANSVERSAL

El sincronismo transversal se presenta en un buque cuando el período doble de balance del buque es igual al período aparente de la ola.

Td = Ta

Cuando esto ocurre los balances van aumentando en cada ola que pasa, pudiendo el buque perder su estabilidad y darse la vuelta.

Su explicación es la siguiente: Supongamos en la Fig. XX-6, que muestra el perfil de una ola que se traslada en el sentido de la flecha (derecha a izquierda).

En la posición (a) el buque se encuentra en el seno de la ola, al inicio del período t = 0 y el buque se halla escorado elángulo θ_0 a estribor: a partir de este instante el par adrizante comienza a actuar.

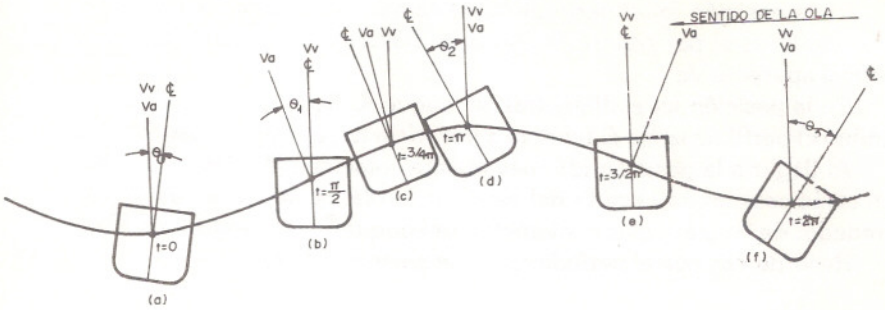


Fig. XX-6

En la posición (b) en donde t = π / 2 el buque se halla adrizado, el diametral ℄ y la vertical verdadera Vv coinciden pero forman un ángulo θ_1 con la vertical aparente Va, entonces el buque va a continuar hacia Br. por su inercia.

En la posición (c) donde t = 3/4.π , el plano diametral del buque ℄ ha pasado la vertical aparente Va y continúa escorándose hacia Br. debido a que el trabajo resistente no se ha igualado al trabajo motor.

En la posición (d), t = π el buque se encuentra en la cresta de la ola, la Va y Vv coinciden formando un ángulo θ_2 mayor que θ_0 pero a babor. En este instante el trabajo motor es igual al trabajo resistente y el par adrizante comenzará a actuar como motor.

En la posición (e), t = 3/2.π el buque se adriza, coincidiendo Vv y ℄ pero la Va forma un ángulo a Er. con ellas, entonces el ℄ tiende a ir hacia Va hasta encontrarla pero por inercia continúa hasta el seno de la ola.

En la posición (f), t = 2.π , la Vv y Va coinciden formando un ángulo θ_3 mayor que θ_2 pero a Er. En este instante el trabajo motor se iguala al trabajo resistente y comienza un nuevo ciclo en el cual se repite el movimiento de balance, aumentando el ángulo de escora cada vez más, hasta llevar al buque a un ángulo de escora igual al ángulo crítico dinámico en donde se anula la reserva de estabilidad dinámica, lo que causaría la zozobra del buque.

20.7. MODO DE EVITAR EL SINCRONISMO TRANSVERSAL

Si un buque entra en sincronismo transversal quiere decir que el período doble de balance del buque es igual al período aparente de la ola, Td = Ta, se debe evitar para que el buque no sufra avería o su pérdida total.

Para que el buque entre en sincronismo el mar tiene que ser regular, el período del buque constante y los medios resistentes constantes en su balance; en la realidad las causas antes dichas son variables y ello evita que el buque intensifique sus balances, pero a veces cuando vienen trenes de olas muy regulares entra en sincronismo 2 a 3 balances haciéndolo dar fuertes movimientos.

Lo deseable sería que hubiera mucha diferencia entre el Td y el Ta, pero sabe-

mos que el período del buque y de la ola son muy parecidos; además que depende del tamaño del buque, su condición de carga y del tipo de mar.

En buques pequeños principalmente, no se podría modificar el período de balance haciéndolo mayor debido a que se vería muy reducida su estabilidad.

$$\overline{GM} = \left(\frac{K \cdot M}{Td} \right)^2$$

EJEMPLO N° 92. Un buque de 7 metros de manga y un período doble de 12 seg. Hallar su altura metacéntrica.

$$\overline{GM} = \left(\frac{K \cdot M}{Td} \right)^2 = \left(\frac{0{,}78 \times 7}{12} \right)^2 = 0{,}21 \text{ m.}$$ (como el Td de este buque es muy grande para su tamaño su $\overline{GM}$ disminuyó demasiado).

La manera de evitar el sincronismo no sería cambiando pesos o modificando la inercia del buque, porque esto llevaría mucho tiempo y a veces imposible, en el mar.

Al entrar en sincronismo el buque al ir navegando se puede salir de él cambiando de rumbo o variando la velocidad del buque.

Lo que se pretende es cambiar el período aparente de la ola Ta, para cuyo cálculo tenemos la siguiente fórmula:

$$Ta = \frac{\overline{AB}}{Va} = \frac{To \cdot Vo}{Vo \pm Vb \cdot \cos \alpha}$$

Siendo:

To = período natural de la ola
Vo = velocidad de la ola
Vb = velocidad del buque
α = ángulo formado con el diametral y la dirección de la ola contado desde proa o popa para que sea menor que 90°
Signo + cuando el mar venga de proa (amura)
Signo − cuando el mar venga de popa (aleta)

EJEMPLO N° 93. Un buque navega con mar por la amura de Er. o sea α = 045°; Vb = 15 nudos, el período de la ola To = 10 seg. y Td = 14 seg.. Se pide:

1°) Balances del buque
2°) Ángulo α para que el buque entre en sincronismo
3°) Si después de entrar en sincronismo se disminuyera la Vb a 10 nudos, hallar el Ta.

Solución:

$$1°)\ Ta = \frac{To \cdot Vo}{Vo + Vb \cdot \cos \alpha} = \frac{10 \times 1{,}56 \times 10}{1{,}56 \times 10 + \dfrac{15 \times 1852 \times \cos 45°}{3600}} = 7{,}41 \text{ seg.}$$

Td > Ta Buque con balances suaves próximos a la vertical verdadera Vv

$$2°)\ Ta = \frac{To \cdot Vo}{Vo + Vb \cdot \cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{Vo\,(To - Ta)}{Ta \cdot Vb} = \frac{1{,}56 \times 10\,(10 - 14)}{\dfrac{14 \cdot 15 \times 1852}{3600}} = \frac{-62{,}4}{108{,}033} = -0{,}57775995$$

$\alpha = 180 - 54{,}718° = 125{,}282° = 125°17'$ medido desde la proa

$$3°)\ Ta = \frac{To\ \ Vo}{Vo + Vb \cdot \cos \alpha} = \frac{10 \times 1{,}56 \times 10}{1{,}56 \times 10 + \dfrac{10 \times 1852 \times \cos 125°17'}{3600}} = \frac{156}{15{,}6 + (-2{,}97)}$$

$$Ta = \frac{156}{12{,}62856} = 12{,}35 \text{ seg.}$$

Ta = 12,35 seg. ; Tb = 14 seg.

Tb > Ta, el buque se sale de sincronismo pero como los dos períodos están muy próximos el buque da fuertes movimientos de balance.

20.8. PERIODO DE CABECEO Y PERIODO DE LA OLA

Los cabeceos o cabezadas son los movimientos oscilatorios del buque sobre el eje transversal; debido a que el par adrizante es muy grande el período doble longitudinal Td' es menor que el período doble de balance Td.

El Td' es aproximadamente 0,5 a 0,67 de Td, para la resolución de ejercicios adoptaremos el valor medio de Td' = 0,55 . Td.

El período longitudinal Td' se puede calcular por la fórmula:

$$Td' = 2\pi \sqrt{\frac{I_L}{D \cdot \overline{GM}_L}}$$

esta fórmula está calculada en función del momento de inercia longitudinal I_L; el desplazamiento del buque D y la altura metacéntrica longitudinal $\overline{GM}_L$.

Otra fórmula es la siguiente:

$$Td' = 0{,}65 \frac{E}{\sqrt{\overline{GM}_L}}$$

esta fórmula está calculada en función de la eslora E y la altura metacéntrica longitudinal $\overline{GM}_L$, en metros.

Sea en la Fig. XX-7 una ola de longitud AB y un buque de eslora AN, el ángulo de su cabezada será θ ; comparando con otro buque de eslora AM la cabezada de

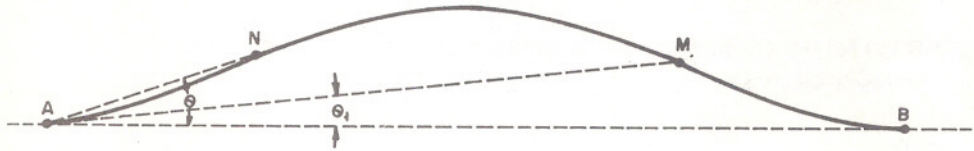


Fig. -XX-7

este último será de un ángulo θ_1; podemos observar que el ángulo θ_1 es menor que el θ . Si tuviéramos otro buque de eslora igual a la longitud de la ola AB el buque solamente tendría el movimiento de ascenso y descenso sin cabecear.

De lo anteriormente dicho deducimos que un buque sin movimiento y aproado al mar daría sus mayores cabezadas cuando su eslora fuera igual a la mitad de la longitud de la ola.

Si consideramos el buque en movimiento habrá que considerar el período doble del buque longitudinal Td' y el período aparente de la ola Ta.

El período aparente de la ola Ta lo obtenemos mediante la siguiente fórmula:

$$Ta = To \cdot \frac{Vo}{Vo \pm Vb \cdot \cos \alpha} = \frac{Lo}{1{,}25 \sqrt{Lo} \pm Vb \cdot \cos \alpha}$$

Si el buque tuviera el mar de proa o popa, el ángulo $\alpha = 0°$ o $\alpha = 180°$, respectivamente, el cos $\alpha = \pm 1$ y la fórmula anterior nos queda:

$$Ta = To \cdot \frac{Vo}{Vo \pm Vb} = \frac{Lo}{1.25\sqrt{Lo} \pm Vb}$$

Entonces se debe considerar la velocidad de la ola y la del buque para saber el período aparente Ta. En las fórmulas anteriores el signo será positivo (+) cuando el mar está por proa del través, entonces el denominador del segundo miembro aumenta y el Ta disminuye, en caso que el mar estuviera por popa del través el signo será negativo (—) y el Ta aumentará.

Si el período longitudinal Td' = Ta el buque entra en sincronismo longitudinal y el buque corre el riesgo de «colarse por ojo» debido a sus cabezadas que van en aumento ola tras ola, se levanta el buque de proa en su cresta, cayendo su proa en el seno, dando grandes pantocazos (planchazos) que hacen sufrir mucho su estructura, aflojando remaches y otras partes estructurales, la hélice queda afuera del agua disparándose a muy altas rotaciones de las máquinas.

Para salir de la situación de sincronismo, se debe cambiar el rumbo o variar la velocidad. El sincronismo más común es el longitudinal de mar de proa debido a que el período aparente de la ola se vuelve menor y se iguala al período longitudinal del buque.

EJEMPLO N° 94. Un buque navega con mar de proa, su Td = 8 seg. y el To = 5 seg. Se desea saber a qué velocidad el buque tendrá sincronismo longitudinal.

Solución:

Sincronismo longitudinal: Td' = Ta

$$Td' = 0.55 \cdot Td = 0.55 \times 8 = 4.4 \text{ seg.}$$

$$Ta = To \frac{Vo}{Vo + Vb} = 5 \times \frac{1.56 \times 5}{1.56 \times 5 + X} = 4.4 \text{ seg.}$$

$$Ta = 4.4 = \frac{39}{7.8 + X}$$

$$Vb = X = \frac{39}{4.4} - 7.8 = 1.06 \text{ m/seg.}$$

$$Vb = 2.07 \text{ nudos}$$

EJERCICIOS

1 Un buque tiene un período transversal de 14 seg., el mar To = 8 seg. y la velocidad del

buque es de 15 nudos. Calcular el ángulo abierto de la proa que se tendrá con el mar para entrar en sincronismo transversal.

R.: $\alpha = 133°53'$

2. El período doble de balance de un buque es de 10 seg., se navega a 16 nudos con olas de 70 metros de longitud.

Hallar el ángulo medido desde la proa que recibirá el mar para entrar en sincronismo ransversal.

R.: $\alpha = 114°51'$

3. Un buque de 130 m. de eslora y un $\overline{GM}_L = 140$ m. Hallar el período doble longitudinal.

R.: Td' = 7,14 seg.

APENDICE 3

CORRECCION DEL DESPLAZAMIENTO PARA UN ASIENTO DADO

3. GENERALIDADES

Los desplazamientos que nos suministran las curvas hidrostáticas o la escala de peso muerto están calculados con el buque con asiento cero normalmente, excepto los buques que tienen un asiento de construcción; cuando el asiento no coincide con cero o el de construcción, se debe corregir el desplazamiento.

La corrección se puede efectuar analíticamente o por medio de la curva hidrostática para corrección del desplazamiento (el atunero «Aratz» no la posee, generalmente la traen buques de gran tonelaje).

3.1. CORRECCION DEL DESPLAZAMIENTO ANALITICAMENTE

Esta corrección se efectúa cuando el centro de flotación F, (Fig. 3-1), no coincide con la cuaderna maestra, entonces el calado medio Cm = $\overline{Kn}$ que se mide en lugar de ser el $\overline{Km}$, para obtener el desplazamiento de los volúmenes de las isocarenas correspondientes a las flotaciones LoFo y L_1F_1. Por lo dicho anteriormente existe un error $\overline{nm}$ en el calado medio y por lo tanto en el desplazamiento.

Este valor $\overline{nm}$ lo hallamos, considerando el triángulo rectángulo nmF, en donde el ángulo en F lo llamamos θ_L, el ángulo en m es recto.

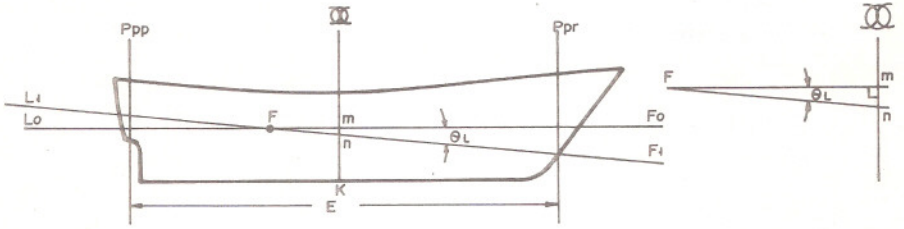


Fig. 3-1

$$\overline{nm} = \overline{\boxtimes F}\ \text{tg.}\ \theta_L \ ;\ \text{tg.}\ \theta_L = \frac{A}{E} = \frac{\text{Asiento}}{\text{Eslora}}$$

$\overline{\boxtimes F}$ se obtiene de la hidrostática del centro de flotación.

$$\text{Sustituyendo, } \overline{nm} = \frac{\overline{\boxtimes F}.A}{E} = \text{Corrección del calado medio}$$

$$\text{Calado medio real} = Cm \pm \overline{nm} = Cm \pm \frac{\overline{\boxtimes F}\ .\ A}{E}$$

Al sumarle o restarle la corrección $\overline{nm}$ se está aumentando o disminuyendo el desplazamiento una cantidad ΔD.

Si la corrección $\overline{nm}$ se convierte en centímetros, tenemos:

$\Delta D \Rightarrow \pm\ \overline{nm} \times Tc$ = distancia en cm. x Toneladas por cm. de inmersión

Para adoptar el signo se utiliza la siguiente regla:

a) F a proa de $\boxtimes$

Asiento apopante, corrección — (negativa)

Asiento aproante, corrección + (positiva)

b) F a popa de $\boxtimes$

Asiento apopante, corrección + (positiva)

Asiento aproante, corrección — (negativa)

EJEMPLO N° 99. Un buque se encuentra en las siguientes condiciones: Cpr. = 3,50 m., Cpp. = 4,80 m.; E = 50 m.; Tc = 4,4 Tm.; $\overline{\boxtimes F}$ = 2,24 m. hacia popa; D = 1.290 Tm.. Hallar el desplazamiento corregido por asiento.

A = Cpp. — Cpr. = 4,80 — 3,50 = 1,30 m. = 130 cm. + (apopado)

$$\Delta D = +\ \overline{nm} \times Tc = \frac{\overline{\boxtimes F} \times A \times Tc}{E} = \frac{224 \times 130 \times 4{,}4}{5.000} = 25{,}63\ (+)\ \text{Tm.}$$

Esta corrección se debe sumar porque F está a popa de la cuaderna maestra y el buque está apopado.

Dc = Desplazamiento corregido = D + ΔD = 1.290 + 25.63 = 1.315,63 Tm.

3.2. CORRECCION DEL DESPLAZAMIENTO UTILIZANDO LAS CURVAS HIDROSTATICAS

En las curvas hidrostáticas de muchos buques viene incluida una curva que se llama «corrección del desplazamiento para 1 cm. de asiento». Fig. 3-2.

Se entra con el calado medio del buque hasta la curva de «corrección del des-

plazamiento para un cm. de asiento» obteniendo en la abscisa un valor en centímetro que multiplicado por el coeficiente que está indicado en la curva nos da las toneladas a corregir al desplazamiento para 1 cm. con su respectivo signo, este valor multiplicado por el asiento nos da la corrección total a aplicar Δ D.

EJEMPLO N° 100. El buque de la Fig. 3-2 tiene los siguientes calados: Cpr = 4,00 m. y Cpp = 3,20 m.. Hallar el desplazamiento corregido por asiento.

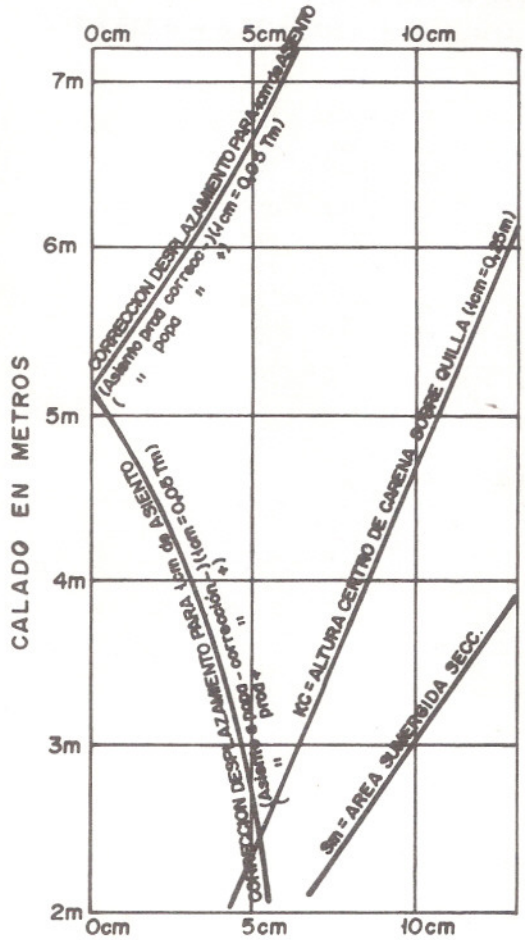


Fig. 3-2

$$Cm = \frac{Cpr + Cpp}{2} = \frac{4.00 + 3,20}{2} = 3,60 \text{ m.}$$

A = Cpp. — Cpr. = 3,20 — 4,00 = — 0,80

A = — 80 cm. aproado

En la curva del desplazamiento se obtiene D = 4.800 Tm. (D sin corregir).

Entrando en la curva de «corrección del desplazamiento para 1 cm. de asiento», se obtiene en la abscisa el valor 3,9 cm.; entonces tenemos:

ΔD_1 cm. = 3,9 x 0,05 = 0,195 + Tm., esta corrección es para 1 cm. de asiento a proa, pero como el asiento es de 80 cm. aproado, la corrección será:

ΔD = 0,195 x 80 = 15,6 + Tm.

D corregido = D + Δ D = 4.800 + 15,6 = 4.815,6 Tm.

APENDICE 4

4.1. CALCULO DE LOS CALADOS DE UN BUQUE CUANDO EL CENTRO DE FLOTACION (F) NO COINCIDE CON EL CENTRO DE ESLORA

En el Capítulo XI estudiamos el cálculo de los calados de un buque al correr un peso longitudinalmente o para una condición de carga cualquiera, suponiendo que el centro de flotación coincidía con el centro de eslora del buque o cuaderna maestra. Allí dijimos que ese cálculo era aproximado, puesto que muchas veces en los buques no coinciden el centro de flotación F con la cuaderna maestra Ⓜ .

En este Apéndice vamos a estudiar el cálculo de los calados exactamente; el error puede ser considerable en buques que tienen esloras grandes y la distancia de F al centro de eslora Ⓜ (cuaderna maestra) es también grande.

En la Fig. 4-1, representan las líneas verticales de los extremos, las perpendiculares de proa y popa y en el centro de estas dos la cuaderna maestra.

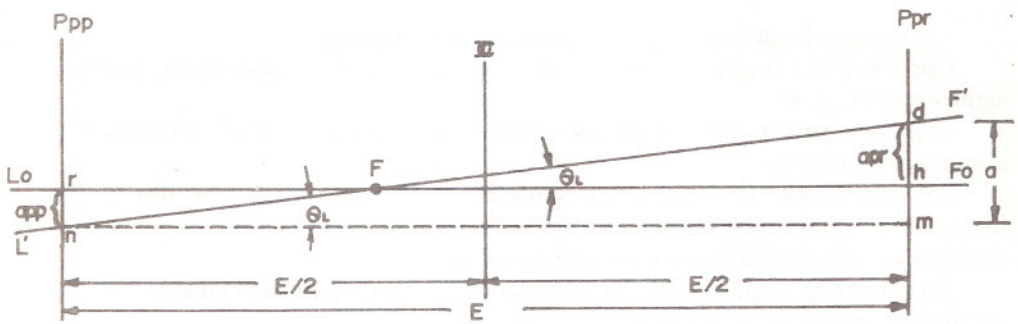


Fig. 4-1

LoFo y L'F' representan dos líneas de agua en dos condiciones de calados, la primera de asiento 0 (cero) y la segunda después que el buque tuvo una alteración hacia proa, las cuales se interceptan en el centro de flotación F.

Si trazamos una paralela por n a LoFo, nos queda:

$$\text{Tg. } \theta_L = \frac{md}{nm} = \frac{a}{E} = \frac{\text{Alteración}}{\text{Eslora entre perpendiculares}}$$

rF = dpp = distancia a popa
hF = dpr = distancia a proa
nr = app. = alteración a popa
hd = apr. = alteración a proa
mh + hd = app + apr = a
En los triángulos nFr y hFd ambos rectángulos se establece:

$$\text{apr} = \text{alteración a proa} = \text{dpr.tg } \theta_L = \text{dpr.} \frac{a}{E}$$

$$\text{app} = \text{alteración a popa} = \text{dpp . tg } \theta_L = \text{dpp .} \frac{a}{E}$$

Ahora, observando el gráfico vemos que:

$$\text{dpr} = \frac{E}{2} + \overline{\text{MF}} \text{ y dpp} = \frac{E}{2} - \overline{\text{MF}} \text{ ; cuando F está a popa de la M}$$

$$\text{dpr} = \frac{E}{2} - \overline{\text{MF}} \text{ y dpp} = \frac{E}{2} + \overline{\text{MF}} \text{ ; cuando F está a proa de la M}$$

Los calados finales se obtienen, de la siguiente manera:
Cpr.f = Cpr.i − apr. ; Cpp.f = Cpp.i + app ; si a (alteración) es hacia popa el signo es positivo +.
Cpp.f = Cpr.i + apr. ; Cpp.f = Cpp.i − app ; si a (alteración) es hacia proa el signo es negativo −.
Las alteraciones se expresan en centímetros cuando las distancias dpr. y dpp. (distancia entre el centro de flotación F y las perpendiculares de proa y popa respectivamente), así como la E (eslora) están en metros.
En el sistema inglés las alteraciones se expresan en pulgadas cuando los valores de dpr., dpp. y E se encuentran en pies.
En el caso particular en que el centro de flotación F coincidiera con la cuaderna maestra M , los calados se calcularían, de la siguiente manera:

$$\text{Cpr.f} = \text{Cpr.i} \mp \frac{a}{2} \text{ y Cpp.f} = \text{Cpp.i} \pm \frac{a}{2}$$

EJEMPLO N° 101. Los calados de un buque son: Cpr. = 5,50 m., Cpp. = 5,40 m., se transvasan 60 Tm. de agua de lastre del tanque No. 2 al No. 4 una distancia de 55 m. longitudinalmente, siendo la eslora del buque de 115 m.; el Mu = 85 Tm.m/cm. y el centro de flotación está a 2,30 m. hacia popa del centro de eslora.

¿Cuáles serán los calados una vez efectuado el traslado?

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} = \frac{60 \times 55}{85} = +\ 38{,}82 \text{ cm. (apopa porque el traslado es hacia popa)}$$

$$apr. = \frac{a}{E} \cdot dpr. = \frac{a}{E} \cdot (E/2 + \overline{\text{CF}})$$

$$apr. = \frac{38{,}82}{115} \cdot (115/2 + 2{,}30) = \frac{38{,}82}{115} \cdot 59{,}8 = 20{,}2 \text{ cm. } (-)$$

$$app. = \frac{a}{E} \cdot dpp. = \frac{a}{E} \cdot (E/2 - \overline{\text{CF}})$$

$$app. = \frac{38{,}82}{115} \cdot (115/2 - 2{,}30) = \frac{38{,}82}{115} \cdot 55{,}2 = 18{,}6 \text{ cm. } (+)$$

Cpr.f = Cpr.i − apr. = 5,50 − 0,20 = 5,30 m.
Cpp.f = Cpr.i + app. = 5,40 + 0,19 = 5,59 m.

EJEMPLO N° 102. Un buque cuyos calados son: Cpr. = 16'06'', Cpp. = 16'10''; E = 420 pies y se obtienen en sus curvas hidrostáticas los valores siguientes: Mu = 700 Tons.pies/pulg.; $\overline{\text{CF}}$ = 8 pies a popa.

Calcular los calados finales si se traslada un peso de 100 Tons. de la bodega No. 4 a la No. 2 una distancia de 140 pies. (Las bodegas se enumeran de proa hacia popa).

$$a = \frac{p \times d_L}{Mu} = \frac{100 \times 140}{700} = -\ 20'' \text{ (aproante)}$$

$$apr. = dpr. \frac{a}{E} = (E/2 + \overline{\text{CF}}) \cdot \frac{a}{E} = (210 + 8)\ \frac{20}{420} = 10{,}38'' \ (+)$$

app. = a − apr. = 20'' − 10,38'' = 9,62'' (−)

Cpr.f = Cpr.i + apr. = 16'06'' + 10.4'' = 17'04.4''

Cpp.f = Cpp.i − app. = 16'10'' − 9,6'' = 16'00.4''.

EJEMPLO N° 103. Un pesquero de 75 m. de eslora cuyos calados al zarpar de puerto son: Cpr. = 4.00 m., Cpp. = 4,40 m. y después de 10 días en el mar pescando, consumió: 60 Tm. de diesel oil del tanque No. 3 centro, que está a $\overline{\text{Cg}}$ = 7,35 m. hacia proa, 40 Tm. de diesel oil (DO) del tanque No. 6 central su $\overline{\text{Cg}}'$ = 4,05 m. hacia popa; agua dulce (AD) 30 Tm. del rasel de popa que se encuentra a $\overline{\text{Cg}}''$ = 32,95 m. hacia popa; además el buque pescó (carga) 48 Tm. de pescado que están estibados en la bodega cuya distancia $\overline{\text{Cg}}'''$ = 5,55 m. hacia proa. Hallar los calados en que se encuentra después de 10 días de pesca.

Solución:

$$Cm = \frac{Cpr. + Cpp}{2} = \frac{4.00 + 4,40}{2} = 4,20 \text{ m. con este valor se obtiene}$$

en las curvas hidrostáticas el desplazamiento D = 4.200 Tm.

El desplazamiento a los diez días de pesca será Df

Df = D − DO − AD + Pescado = 4.200 − (60 + 40) − 30 + 48 = 4.118 Tm.

Con este desplazamiento se entra en las curvas hidrostáticas obteniendo: Tc = 13 Tm.; $\overline{\text{CF}}$ = + 0,95 m. hacia popa; Mu = 74 Tm.m./cm.

CUADRO DE MOMENTOS A F

Descripción	Carga Tm.	Descarga Tm.	Fg m.	Momentos Aproantes	Momentos Apopantes
Tanque No. 3	—	60	8,30		498
Tanque No. 6	—	40	3,10	124	
Rasel popa	—	30	32,00	960	
Pescado	48	—	6,50	312	
	48	130		1.396	498
		48		498	
		p = 82		$p.d_L$ = 898	

$$\text{Emersión} = I = \frac{p}{Tc} = \frac{82}{13} = 6,3 \text{ cm.}$$

$$\text{Alteración} = a = \frac{p \cdot d_L}{Mu} = \frac{898}{74} = 12,13 \text{ cm. aproante } (-)$$

$$apr. = \frac{a}{E} . dpr.$$

$$dpr. = E/2 + \overline{CF} = 75/2 + 0{,}95 = 38{,}45 \text{ m.}$$

$$apr. = \frac{12{,}13 \times 38{,}45}{75} = \frac{466{,}4}{75} = 6{,}21 \text{ cm. } (+)$$

app. = a − apr. = 12,13 − 6,21 = 5,9 cm. (−)
Cpr.f = Cpr.i − I + apr = 4.00 − 0,063 + 0,062 = 4,00 m.
Cpp.f = Cpp.i − I − app = 4.40 − 0,063 − 0,059 = 4,28 m.

4.2. COMO USAR UN DIAGRAMA DE CALADOS

Para calcular los calados de un buque cuando se cargan o descargan pesos, se puede usar el diagrama de calados. Este diagrama es muy práctico y está construido considerando el momento longitudinal que se produce al cargar 100 toneladas en un lugar cualquiera. Dicho momento producirá una alteración a los calados de proa y popa, de acuerdo a la distancia que se encuentre el peso considerado del centro de flotación. Los valores de estas variaciones se obtienen con sus respectivos signos, para el calado medio tabulado más próximo.

Cuando la cantidad de carga difiere de 100 toneladas, aumentarán o disminuirán proporcionalmente los calados en los extremos, por ejemplo, si se cargan 450 Tm. el valor obtenido en el diagrama se multiplica por 4,5. Los valores de las alteraciones resultantes se aplican a los calados iniciales de proa y popa con sus signos correspondientes y así se repite para cada peso que se cargue.

En caso de descarga de pesos se aplica el signo contrario al de los valores dados en el diagrama.

Los valores de las alteraciones a aplicar a los calados de proa y popa generalmente están expresados en centímetros o pulgadas.